М. Д. Ганзбург

Улучшение звучания приемника



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

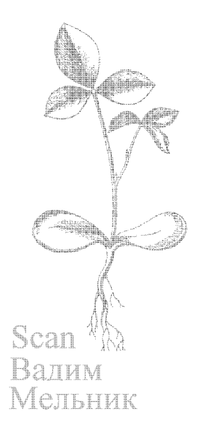
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 398

М. Д. ГАНЗБУРГ

УЛУЧШЕНИЕ ЗВУЧАНИЯ ПРИЕМНИКА

Издание второе, переработанное и дополненное





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1961 ЛЕНИНГРАД

СОДЕРЖАНИЕ

В книге рассказывается о новинках в зарубежных и отечественных радиовещательных приемниках, направленных на улучшение качества их звучания. Особое внимание в ней уделено акустическим системам объемного и стереофонического звучания и усилителям низкой частоты для этих систем.

Книга предназначена для радиолюбителей-конструкторов.

6Ф2.12 *Ганзбург Марк Давидович*

Г19 Улучшение звучания приемника. Изд. 2-е, переработ. доп. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961.

144 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 398).

6Ф2.12

Редактор *Ф. И. Тарасов* Техн. редактор *К. П. Воронин*

Сдано в набор 16/XII 1960 г. Подписано к печати 21/II 1961 г.
Т-01693. Бумага $84 \times 108^1/_{32}$. 7,38 печ. л. Уч.-изд. л. 7,8.
Тираж 100 000 (1-й завод 25 000) экз. Цена 31 коп. Заказ 361

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Со времени выхода в свет первого издания этой книги, которое быстро разошлось, в технике звуковоспроизведения произошли существенные изменения, направленные на улучшение звучания приемника. За это время появились стереофонические граммофонные пластинки, началось стереофоническое радиовещание. В соответствии с этим были разработаны стереофонические акустические системы и стереофонические усилители низкой частоты.

Данная книга, как и первое ее издание, ставит своей целью ознакомить радиолюбителей с теми нововведениями, которые улучшают звучание приемника, приближая его к естественному. Наряду с описанием различных акустических систем для радиовещательных приемников и схем усилителей низкой частоты, предназначенных для питания этих систем, в книге рассматриваются новые акустические системы, громкоговорители и усилители, предназначенные для стереофонического воспроизведения. Книга дополнена рядом новых схем усилителей низкой частоты и описанием выносных акустических систем.

Как и в предыдущем издании этой книги, в конце ее приводятся практические советы, помогающие радиолюбителю применить полученные сведения в своей практической работе.

М. Ганзбург

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Качество воспроизведения приемника определяется как параметрами его акустической системы и электрического тракта, так и полосой частот, передаваемой радиопередающим устройством. В УКВ диапазоне полоса частот практически не ограничивается. Это позволяет резко повысить качество звучания приемников с УКВ диапазоном путем расширения их частотной характеристики, особенно в области верхних звуковых частот. Но расширение диапазона воспроизводимых частот невозможно, если излучатель звука — громкоговоритель — имеет узкий частотный диапазон.

СОВРЕМЕННЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Одним из новых громкоговорителей, позволяющих улучшить качество звучания приемника, является электродинамический громкоговоритель овальной формы. Основное его преимущество перед громкоговорителем с круглым диффузором состоит в воспроизведении более широкой полосы частот. Объясняется это тем, что вследствие изменяющегося радиуса кривизны диффузор овального громкоговорителя обладает повышенной жесткостью и хорошо излучает верхние звуковые частоты. Кроме того, благодаря большему углу раствора диффузора расширяется и диаграмма направленности излучения громкоговорителя. На рис. 1,*а* приведены диаграммы направленности излучения в горизонтальной плоскости круглого электродинамического громкоговорителя диаметром 180 *мм* (пунктирная кривая) и овального громкоговорителя с размерами по осям 180 и 210 *мм* (сплошная кривая), измеренные на частоте 10 000 *гц*.

Помимо указанных преимуществ, овальный громкоговоритель имеет и значительно меньшую неравномер-

ность частотной характеристики. Из приведенной на рис. 1,*б* несколько идеализированной частотной характеристики громкоговорителя с осями 180×210 *мм*, снятой на акустическом экране, видно, что при неравномерности 15 *дб* овальный громкоговоритель воспроизводит полосу частот 40—15 000 *гц*. Правда, такой громкоговоритель, будучи установлен в футляре приемника, хорошо

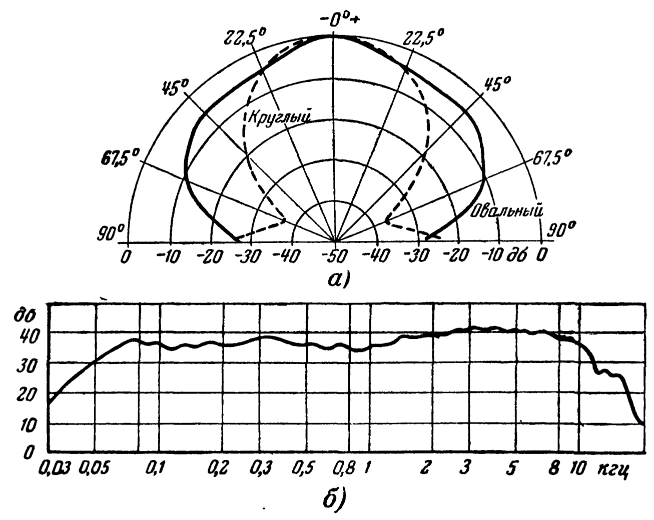


Рис. 1. Характеристики овального электродинамического громкоговорителя.

а — диаграмма направленности излучения на частоте 10 000 *гц*; *б* — частотная характеристика.

излучать столь низкие частоты звукового спектра не сможет, но воспроизведение их будет все же более эффективным, чем круглым громкоговорителем. Следует отметить еще и значительно меньшую склонность овального громкоговорителя к образованию комбинационных тонов при повышенной мощности, чем это имеет место у круглых громкоговорителей.

Более простым способом расширения полосы воспроизводимых частот является добавление в громкоговорителе второго небольшого диффузора. Радиолюбителям, вероятно, известны электродинамические громкоговорители с раструбом в центре, который неподвижно укреплен на керне магнитной системы. Такой громкоговори-

тель, установленный в приемнике «Рига-10», позволил получить акустические параметры, удовлетворяющие нормам ГОСТ на радиоприемники первого класса. Однако в этом случае верхняя граница воспроизводимого диапазона ограничилась частотами порядка 6 500 *гц*.

Чтобы еще больше расширить диапазон частот громкоговорителя, в него вводят дополнительный диффузор небольших размеров. Этот диффузор, прикрепленный к горловине основного диффузора, колеблется вместе с ним. Такой громкоговоритель получил название двухдиффузорного.

Наличие дополнительного диффузора увеличивает жесткость горловины подвижной системы, что приводит к улучшению воспроизведения верхних звуковых частот. Кроме того, дополнительный диффузор, имеющий меньшие, чем основной, размеры, также излучает преимущественно частоты верхней части звукового спектра. Одновременно расширяется и диаграмма направленности излучения на верхних частотах.

Форма и размеры дополнительного диффузора пока не поддаются расчету и определяются опытным путем в зависимости от требуемой частотной характеристики. Чаще всего ему придают примерно такой же вид, как и основному, и размещают на расстоянии 1—3 *мм* от последнего. В современных двухдиффузорных громкоговорителях дополнительный диффузор прикрепляют не к горловине основного, а к каркасу звуковой катушки, который в этом случае делают несколько большей высоты.

В настоящее время дополнительный диффузор устанавливают во многих громкоговорителях, в том числе и в овальных. Интересно отметить, что в овальных громкоговорителях иногда рекомендуют дополнительный диффузор делать также овальным и располагать его так, чтобы его большая ось была перпендикулярна большой оси основного диффузора (рис. 2). Применение такого расположения диффузоров расширяет диаграмму направленности на верхних частотах не только в горизонтальной плоскости, но и в вертикальной.

Для расширения верхней границы воспроизводимых приемником частот применяются также небольшие пьезоэлектрические, электростатические и электродинамические громкоговорители небольших размеров в ком-

бинации с электродинамическим громкоговорителем больших размеров, рассчитанным на воспроизведение нижних и средних частот.

Наиболее прост в изготовлении пьезоэлектрический громкоговоритель. Принцип его действия основан на свойстве пьезокристалла колебаться под воздействием переменного электрического поля. Пьезоэлектрические громкоговорители с кристаллом из сегнетовой соли выпускались раньше нашей промышленностью как абонентские для радиотрансляционной сети, но не нашли широкого распространения из-за механической непрочности кристалла и зависимости его характеристик от температурных условий. Зарубежные фирмы изготовляют пьезоэлектрические громкоговорители с пьезокерамикой. Этим в значительной степени устраняются недостатки, присущие громкоговорителям с кристаллами из сегнетовой соли.

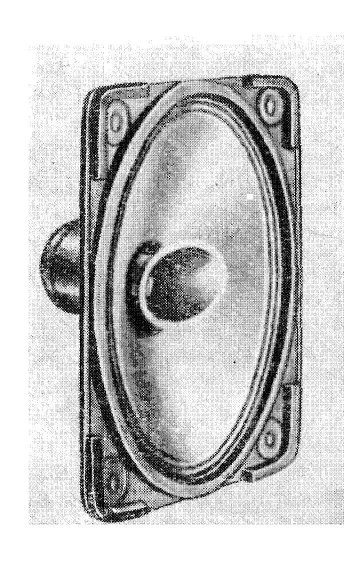


Рис. 2. Овальный громкоговоритель с дополнительным диффузором овальной формы.

Электростатический громкоговоритель, хотя и ненамного сложнее по конструкции пьезоэлектрического, но более труден в изготовлении. На рис. 3 показано устройство электростатического гормкоговорителя типа SKL-100. Основная его часть — мембрана — изготовляется из стирофлекса и имеет сложную геометрическую форму; толщина ее составляет 20 *мк*. С внешней стороны мембрана покрыта слоем золотой фольги толщиной 0,1 *мк*, которая служит одним из электродов громкоговорителя. В качестве другого электрода используется очень мелкая металлическая сетка, имеющая отверстия диаметром 0,6 *мм* и почти такую же форму, как и мембрана. При помощи штифта и пружины сетка все время плотно прижата к мембране. В результате образуется

конденсатор, в котором обкладками служат золотая фольга и металлическая сетка, а диэлектриком — стирофлексовая мембрана. Перфорированная стальная крышка и пластмассовый корпус объединяют все части громкоговорителя в одно целое.

Для нормальной работы электростатического громкоговорителя к его зажимам нужно подвести постоянное

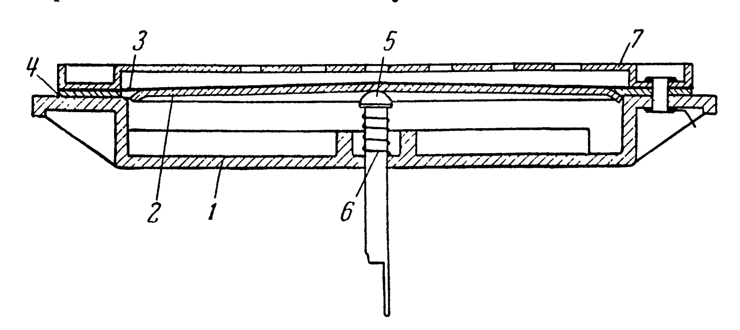


Рис. 3. Устройство электростатического громкоговорителя.
1 — корпус; 2 — электрод; 3 — мембрана; 4 — резиновое кольцо, 5 — болт; 6 — пружина; 7 — перфорированная крышка.

(250—300 *в*) и переменное напряжения. Эти напряжения прикладываются между золотой фольгой и металлической сеткой. Постоянное напряжение служит для создания между ними электростатического поля. Под действием же переменного напряжения напряженность этого поля изменяется в такт со звуковой частотой. Вследствие этого изменяются электростатические силы, действующие между золотой фольгой и металлической сеткой, и мембрана колеблется, излучая звук.

На рис. 4,*а* приведена схема включения электростатического громкоговорителя в однотактном выходном каскаде. Постоянное напряжение на него подается с последнего электролитического конденсатора фильтра выпрямителя через сопротивление R_2. Напряжение звуковой частоты снимается с анода оконечной лампы и подводится к громкоговорителю через фильтр $C_1R_1C_2$. Этот фильтр нужен для того, чтобы не пропустить к электростатическому громкоговорителю нижние звуковые частоты (ниже определенной для каждого отдельного типа громкоговорителя граничной частоты) и этим резко снизить коэффициент нелинейных искажений. Схема

включения громкоговорителя в двухтактном выходном каскаде показана на рис. 4,*б*.

Акустическая мощность (звуковое давление) электростатического громкоговорителя зависит как от постоянного и переменного потенциалов на его электродах, так и от емкости подвижной системы. При большой емкости подвижной системы, имеющей место в случае гладкой мембраны, в частотной характеристике громкоговорителя образуются резко выраженные пики и провалы, т. е. она становится очень неравномерной. В то же время неровности и незначительные выпуклости на поверхности мембраны облегчают ее колебания, снижают собственную емкость подвижной системы и выравнивают частотную характеристику громкоговорителя. Поэтому мембране придают сложную геометрическую форму. Помимо того, ослабление резонансных явлений достигается равномерным распределением сил, возбуждающих подвижную систему громкоговорителя. Все это позволяет получить частотную характеристику электростатического громкоговорителя достаточно равномерной.

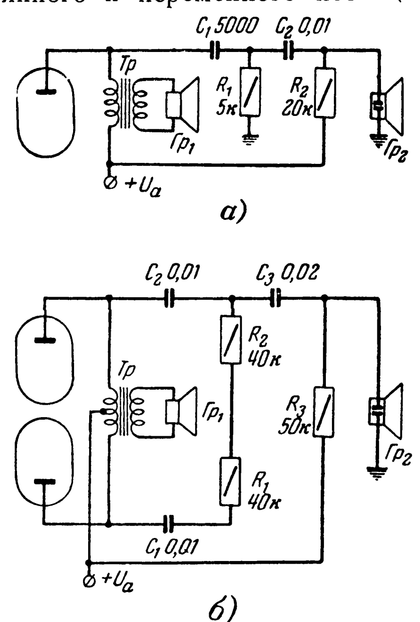


Рис. 4. Схемы включения электростатических громкоговорителей.

б — при однотактном выходном каскаде; *а* — при двухтактном выходном каскаде.

Собственная емкость подвижной системы электростатического громкоговорителя SKL-100 составляет 1 600 *пф*. При такой емкости его звуковое давление получилось максимальным, а частотная характеристика наиболее равномерной. Дальнейшие работы с электростатическими громкоговорителями привели к созданию

плоского громкоговорителя (рис. 5). Такой громкоговоритель размерами 50×160 *мм* развивает звуковую мощность, равную мощности трех электростатических гром-

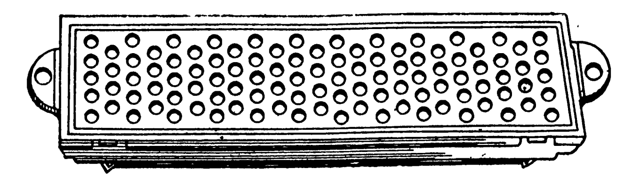


Рис 5. Плоский электростатический громкоговоритель.

коговорителей диаметром 70 *мм*, причем его диаграмма направленности значительно шире диаграммы направленности громкоговорителя с круглым диффузором.

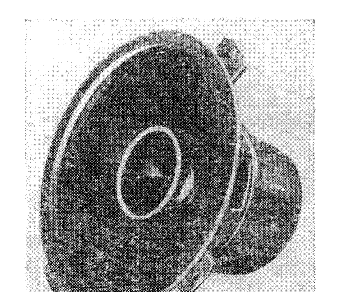
АКУСТИЧЕСКИЕ АГРЕГАТЫ

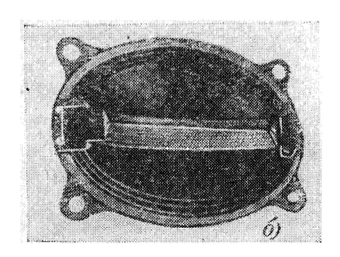
В последнее время зарубежные фирмы разработали и все чаще используют в приемниках комбинированные громкоговорители, состоящие из двух и более громкоговорителей, рассчитанных на воспроизведение различных частот. Получающийся при этом акустический агрегат эффективно воспроизводит широкую полосу частот и занимает относительно мало места.

Простой акустический агрегат, состоящий из двух электродинамических громкоговорителей, показан на рис. 6,*а*. В качестве основного в нем использован 10-ваттный громкоговоритель диаметром 360 *мм*, который воспроизводит нижние и средние частоты. Верхние частоты воспроизводятся громкоговорителем диаметром 100 *мм*, прикрепленным к керну магнитной системы основного громкоговорителя. Звуковые катушки обоих громкоговорителей включены параллельно таким образом, чтобы громкоговорители работали синфазно. Акустический агрегат эффективно воспроизводит полосу частот 40—15 000 *гц* при максимальной мощности 10 *ва*.

На рис. 6,*б* показан акустический агрегат, состоящий из овального электродинамического громкоговорителя с осями 165×245 *мм*, внутри диффузора которого установлен дополнительный электростатический громкоговоритель размерами 52×200 *мм*. Последний имеет несколько изогнутую форму, вследствие чего его глубина

достигает 45 *мм*. Собственная емкость подвижной системы электростатического громкоговорителя составляет 2 500 *пф*. Его диаграмма направленности на частоте 7 000 *гц* достигает ширины 135° при неравномерности 6 *дб*. Данный акустический агрегат воспроизводит полосу частот 75—10 000 *гц*.





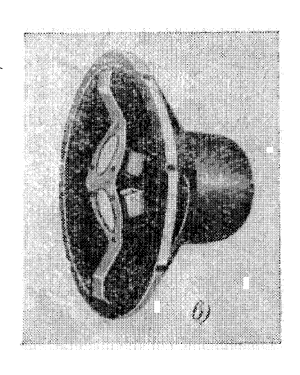


Рис. 6. Акустические агрегаты.
а — из двух электродинамических громкоговорителей; *б* — из электродинамического и электростатического громкоговорителей; *в* — из трех электродинамических громкоговорителей.

Акустический агрегат, состоящий из трех электродинамических громкоговорителей, изображен на рис. 6,*в*. Здесь в качестве основного использован 10-ваттный громкоговоритель диаметром 310 *мм*. К его диффузородержателю прикреплен специальный кронштейн, на котором под углом друг к другу установлены два дополнительных громкоговорителя верхних частот диаметром по 65 *мм*. Такой акустический агрегат имеет равномерную частотную характеристику и эффективно воспроизводит полосу частот 50—15 000 *гц* при широкой диаграмме направленности излучения.

НОВОЕ В ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯХ

Прежде всего следует упомянуть о новом высокоомном электродинамическом громкоговорителе, разработанном специально для усилителя, оконечный каскад которого не имеет выходного трансформатора. Такой низкочастотный громкоговоритель для акустической системы объемного звучания имеет звуковую катушку сопротивлением 800 *ом*. Она по сравнению со звуковыми катушками обычных громкоговорителей удлинена и намотана проводом диаметром 0,045 *мм*. Возможность пробоя ее невелика, так как максимальное напряжение, прикладываемое к ней, не превышает 50 *в*.

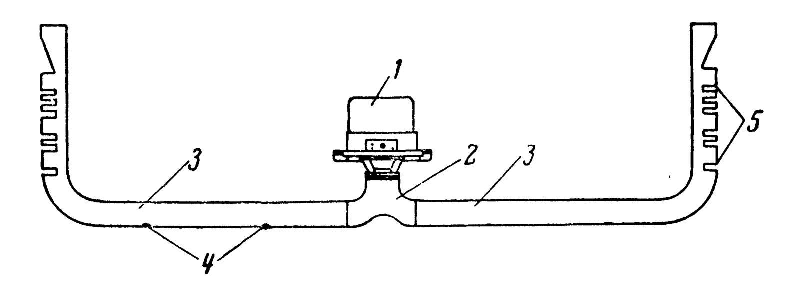


Рис. 7. Звуковой компрессор.
1 — излучатель; *2* — раструб; *3* — волновод; *4* — отверстия; *5* — щелевые прорези.

Интересным для радиолюбителей является звуковой компрессор (рис. 7). Он представляет собой двойной волновод с отверстиями и щелевыми прорезями, которые служат для создания необходимого в этой системе затухания и распределения излучения. Волноводы соединяются при помощи раструба. К нему же прикреплен и излучатель звука. Звуковые колебания, излучаемые в раструб, проходят через волноводы и выходят наружу сквозь щелевые прорези и отверстия.

Излучатель представляет собой электродинамическую систему, аналогичную системе диффузорного громкоговорителя. Благодаря большой мощности излучателя звуковое давление, развиваемое компрессором на концах волноводов, значительно больше, чем если бы вместо компрессора были поставлены обычные громкоговорители.

Диапазон частот компрессора лежит в пределах 500—7 000 *гц* при весьма незначительном коэффициенте нелинейных искажений. Вследствие столь узкого диапазона компрессор используется как дополнительный громкоговоритель верхних частот в специальных акустических системах объемного звучания. В приемнике он может быть расположен под верхней панелью футляра, а в радиоле консольного типа — на дне футляра. В боковых и задней стенках футляра против прорезей и отверстий должны быть сделаны соответствующие вырезы.

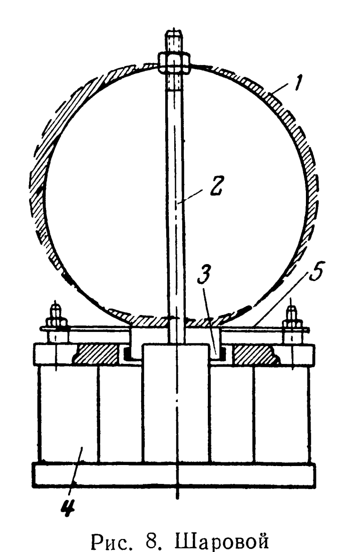


Рис. 8. Шаровой громкоговоритель.

1 — мембрана, *2* — штифт; *3* — звуковая катушка; *4* — магнитная система; *5* — центрирующие оттяжки.

Интересен также шаровой электродинамический громкоговоритель, предназначенный для воспроизведения верхних звуковых частот в стереофонических акустических системах и системах объемного звучания. Диаграмма направленности излучения такого громкоговорителя почти равномерна как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. В сочетании с низкочастотными шаровой громкоговоритель заметно улучшает качество звучания приемника и позволяет резче выделить эффект объемности или стереофоничности звучания.

Устройство шарового громкоговорителя показано на рис. 8. Основой его являются шаровая мембрана *1* и магнитная система *4*. Мембрана представляет собой пустотелый упругий шар с небольшим отверстием вверху и большим внизу. Помимо этого, мембрана имеет одну или несколько щелевых прорезей, расположенных по «меридианам» ее шаровой поверхности. Это сделано для облегчения колебаний мембраны. К нижнему отверстию мембраны приклеена звуковая катушка громкоговорителя *3*, которая другой своей стороной входит в зазор

магнитной системы. Центровка звуковой катушки осуществляется оттяжками *5*. Штифт *2* регулирует положение мембраны и вместе с тем закрепляет в неподвижном положении ее верхнюю часть. Гайками на этом штифте можно натягивать мембрану и тем самым регулировать частоту собственного резонанса подвижной системы.

Работает шаровой громкоговоритель так. При подведении к звуковой катушке переменного напряжения она начинает перемещаться вдоль магнитного зазора. При этом мембрана, укорачиваясь и удлиняясь по высоте и изменяясь по диаметру (пунктирная линия на рис. 8), излучает звуковые колебания.

Исследование шаровых громкоговорителей различных моделей показало, что частотная характеристика, характеристика направленности излучения и частота собственного резонанса громкоговорителя зависят как от формы и способа подвеса мембраны, так и от материала, из которого она изготовлена. Так, при использовании в качестве мембраны мяча для настольного тенниса диаметром около 40 *мм,* в котором были сделаны две меридиональные прорези, громкоговоритель воспроизводит полосу частот 2 000—15 000 *гц*. Если же мембрану склеить из узких полосок бумаги диаметром около 50 *мм* и сделать в ней четыре меридиональные прорези, то полоса воспроизводимых громкоговорителем звуковых частот расширится и будет охватывать диапазон 1 000—16 000 *гц*.

Следует отметить, что шаровой громкоговоритель может эффективно работать совместно с диффузорными громкоговорителями только в том случае, если выходная мощность усилителя, к которому он подключен, не превышает 3—5 *вт*. При большей выходной мощности диффузорные громкоговорители заглушают шаровой. Увеличение же выходной мощности, подводимой к шаровому громкоговорителю, приводит к появлению значительных искажений, нарушающих естественность воспроизведения.

Интересно и несколько необычное использование стандартных электродинамических громкоговорителей. Известно, что два однотипных громкоговорителя с примерно одинаковыми частотами резонанса подвижной системы, приложенные диффузорами один к другому, эф-

фективно воспроизводят только верхние звуковые частоты. Происходит это вот почему. Если снять частотные характеристики двух однотипных громкоговорителей с примерно одинаковыми резонансными частотами, то можно заметить, что в области нижних звуковых частот они будут почти повторяться, а в области верхних ча-

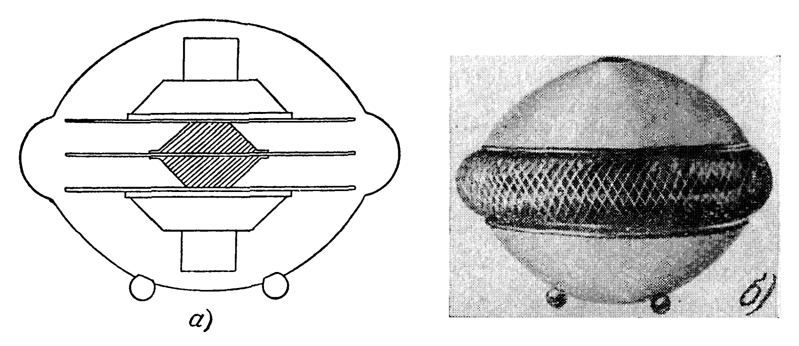


Рис. 9. Сдвоенный верхнечастотный громкоговоритель с рассеивающими конусами.

а — устройство громкоговорителя; *б* — внешний вид.

стот расходиться. Если же приложить эти громкоговорители диффузорами один к другому и подключить к усилителю, то нижние звуковые частоты будут взаимно ослабляться, а верхние складываться, что и приводит к эффективному воспроизведению только верхних звуковых частот. К этому следует добавить, что в такой системе основное излучение звуковой энергии происходит от обратной стороны диффузоров, а так как они имеют коническую форму, то диаграмма направленности излучения становится равномерной в пределах 360°.

Можно и искусственно создать равномерное излучение во все стороны. Для этого надо поместить между громкоговорителями рассеивающие конусы, как это показано на рис. 9,*а*. Применение рассеивающих конусов, кроме того, несколько повышает звуковое давление, развиваемое громкоговорителями.

Сдвоенный высокочастотный громкоговоритель удобно использовать в качестве выносного в акустических системах объемного или стереофонического звучания. Такому громкоговорителю можно придать различное внешнее оформление, которое ничем бы не напоминало

технического изделия. На рис. 9,б показан один из вариантов настольного оформления громкоговорителя.

Отечественная промышленность разработала и освоила ряд новых типов громкоговорителей, которые могут быть использованы в различных акустических системах и с различными усилителями низкой частоты. Среди этих громкоговорителей имеются как овальные (1ГД-9, 5ГД-14) и двухдиффузорные (2ГД-3, 4ГД-1 и др.), так и высокоомные (1ГД-17, 3ГД-11, ВГД-2 и др.).

ГЛАВА ВТОРАЯ

АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Акустическая система радиовещательного приемника состоит из громкоговорителя (или группы громкоговорителей) и футляра, в котором он (или они) установлен. Качественные показатели акустической системы зависят от параметров громкоговорителей, мест расположения их в футляре, а также сочетания тех или иных групп громкоговорителей с целью обеспечения высококачественного воспроизведения различных программ. Немалую роль в этом играют конструкция и материал футляра акустической системы.

Выбирая акустическую систему к приемнику, конструктор должен учитывать его особенности: схему, габариты, материал и форму футляра и др. Так, например, если в малоламповых или малогабаритных приемниках можно установить только один или, в крайнем случае, два громкоговорителя, то в многоламповых моделях возможно применение сложной акустической системы, состоящей из нескольких громкоговорителей различных типов.

ПРОСТЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Простейшая акустическая система, состоящая из электродинамического громкоговорителя и футляра, до недавнего времени была наиболее распространена в радиолюбительских конструкциях. Качество звучания такой системы зависит в основном от правильного выбора соотношения между размерами и параметрами громко-

говорителя и габаритами футляра. Если в приемнике применить овальный электродинамический громкоговоритель вместо круглого, то качество воспроизведения несомненно улучшится.

Конечно, немалую роль будет играть и электрический тракт приемника, который должен пропускать ту же полосу частот, что и громкоговоритель. Кроме того, для улучшения качества звучания необходимо скорректировать частотную характеристику акустической системы. Например, если громкоговоритель имеет на каком-либо участке характеристики провал, охватывающий значительную полосу частот, то низкочастотный тракт должен иметь на этом участке частотной характеристики подъем. Весьма важную роль играют и различного рода искажения (подробно о них будет рассказано ниже).

В отечественных приемниках применяется акустическая система, образованная двумя одинаковыми электродинамическими громкоговорителями круглого типа, установленными на передней стенке футляра и работающими синфазно. Такая акустическая система несколько расширяет диапазон звучания в области нижних частот и уменьшает неравномерность частотной характеристики приемника. Помимо того, она дает возможность использовать громкоговорители небольших размеров (диаметром 125—200 *мм*), что позволяет получить лучшее соотношение между диаметром громкоговорителя и габаритами футляра.

Для улучшения качественных показателей системы громкоговорители должны иметь резонансные частоты, различающиеся на 20—30 *гц*. Благодаря этому пики и провалы частотной характеристики одного громкоговорителя попадают между пиками и провалами частотной характеристики другого и компенсируют их. В результате неравномерность частотной характеристики акустической системы получается меньшей, чем у одного громкоговорителя.

Важную роль играет и расположение громкоговорителей на отражательной доске. Экспериментально установлено, что наилучшие результаты получаются в том случае, когда громкоговорители сдвинуты к одной из боковых стенок футляра (расположены несимметрично), а расстояние между краями диффузородержателей находится в пределах 20—50 *мм*.

В зарубежных приемниках широко использовалась акустическая система, состоящая из двух громкоговорителей разных типов. В качестве основного здесь обычно применялся круглый электродинамический громкоговоритель диаметром 180—250 *мм* или овальный с осями 180×210 *мм* и больше, рассчитанные в основном на

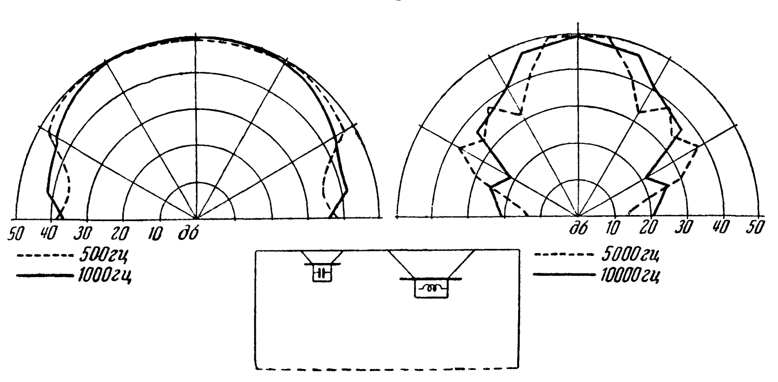


Рис. 10. Расположение громкоговорителей в футляре приемника и диаграммы направленности излучения акустической системы, состоящей из двух различных громкоговорителей.

воспроизведение нижних и средних частот. Дополнительным громкоговорителем, как правило, верхнечастотным, выбирался либо электродинамический диаметром 70—100 *мм*, либо электростатический или пьезоэлектрический того же примерно диаметра. Если основной громкоговоритель воспроизводит достаточно широкую полосу частот, то акустическая система из двух различных громкоговорителей может несколько расширить диаграмму направленности излучения приемника на верхних частотах. На рис. 10 показано расположение громкоговорителей в футляре одного из приемников фирмы Телефункен и приведены диаграммы направленности излучения такой акустической системы.

Акустическая система из двух различных громкоговорителей хотя и улучшает качество звучания приемника, естественного воспроизведения все же не дает. Подчеркивание верхних и нижних частот, воспроизводимых двумя различными громкоговорителями, придает звучанию приемника холодный, металлический оттенок.

Объясняется это тем, что в средней части частотной характеристики все же остается провал, восполнить который два громкоговорителя не в состоянии.

Введение третьего — среднечастотного — громкоговорителя придает звучанию приемника приятный мягкий тембр, приближая его к наиболее естественному. Интересен в этом отношении приемник, в котором три различных громкоговорителя размещены соответственно местоположению инструментов в оркестре. Справа установлен громкоговоритель нижних частот овального типа с осями 210×320 *мм*, который соответствует расположению духовых инструментов. Флейтам и скрипкам, расположенным примерно в центре оркестра, соответствует электродинамический громкоговоритель диаметром 100 *мм,* воспроизводящий средние частоты. Пьезоэлектрический громкоговоритель того же диаметра, установленный слева, соответствует месту гобоев и кларнетов. По отзывам печати, при прослушивании симфонической музыки через этот приемник у слушателя создается впечатление, что он находится в зале. Однако следует отметить, что положительных результатов при таком количестве громкоговорителей можно достигнуть лишь в том случае, если к каждому громкоговорителю подводить соответствующую полосу частот.

АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОБЪЕМНОГО ЗВУЧАНИЯ 3D

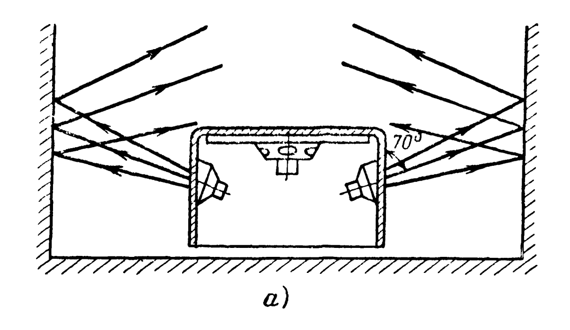
Применение нескольких громкоговорителей, установленных на одной отражательной доске приемника, хотя и улучшает его акустические параметры, но впечатление, что звук исходит из одной точки (приемника), сохраняется. Происходит это потому, что на верхних частотах (выше 1 500—2 000 *гц*) приемник имеет довольно ярко выраженную характеристику направленности. Действительно, если взглянуть на диаграммы направленности излучения, приведенные на рис. 10, то можно видеть, что нижние частоты (500 и 1 000 *гц*) излучаются почти равномерно в пределах ±90° от осевой линии громкоговорителей, а верхние (5 000 и 10 000 *гц*) ослабляются почти на 30 *дб*. Это и приводит к ощущению направленности звучания. Чтобы избежать этого, необходимо расширить диаграмму направленности излучения на верхних частотах.

В результате многочисленных исследований было найдено несколько вариантов такого расположения громкоговорителей в приемнике, при котором диаграмма направленности излучения на верхних частотах резко расширяется. Такие акустические системы получили название систем объемного звучания.

Как же действует акустическая система объемного звучания? На рис. 11,*а* показано расположение громкоговорителей в футляре одного из приемников, имеющего акустическую систему объемного звучания. Для получения эффекта объемности звучания здесь нужны три громкоговорителя: один — основной, расположенный на передней доске футляра, и два дополнительных, установленных на его боковых стенках. Основной громкоговоритель должен излучать только нижние и средние частоты, а боковые — только верхние, которые, отражаясь от стен, окон и мебели комнаты, рассеиваются во все стороны, создавая тем самым эффект объемности звучания. Комната кажется как бы наполненной музыкой, причем направленность звучания сглаживается, а сам источник звука кажется намного шире приемника.

Система объемного звучания, когда громкоговорители расположены в горизонтальной плоскости, получила название 3D (от 3 — Dimension, что означает «звук в трех измерениях»). Впервые эта система была использована фирмой Блаупункт в приемниках «Ривьера» и «Флорида», где, помимо основного овального электродинамического громкоговорителя с осями 210×320 *мм*, установленного на передней отражательной доске, на боковых стенках футляра были помещены два дополнительных электростатических громкоговорителя диаметром 95 *мм*. Против этих громкоговорителей в стенках футляра были сделаны прорези, задрапированные изнутри шелком. В результате наличия дополнительных громкоговорителей и подведения к ним определенной полосы частот характеристика направленности излучения этих приемников на верхних частотах значительно расширилась (рис. 11,*б*).

Первый опыт оказался настолько удачным, что другие фирмы немедленно воспользовались им. В результате появилось множество вариантов расположения громкоговорителей в акустической системе объемного звучания.



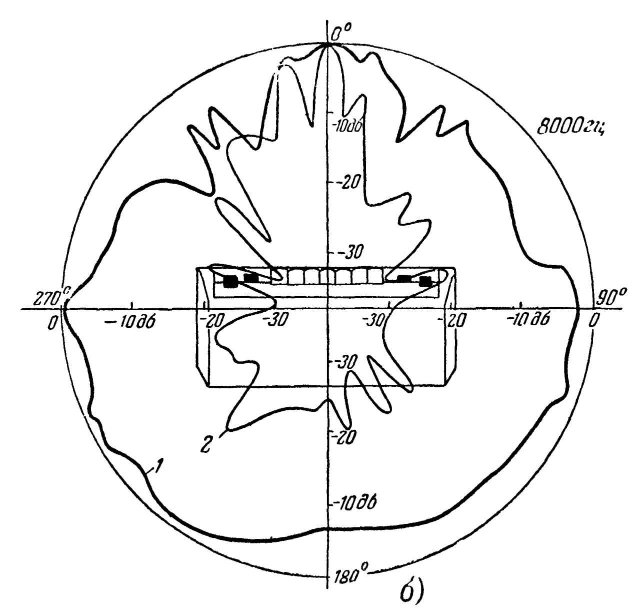


Рис. 11. Расположение громкоговорителей в футляре приемника и диаграмма направленности излучения акустической системы, создающей эффект объемности звучания.

а — расположение громкоговорителей в футляре; *б* — диаграммы направленности излучения на частоте 8 000 *гц* (*1* — при трех громкоговорителях; *2* — при одном фронтальном громкоговорителе).

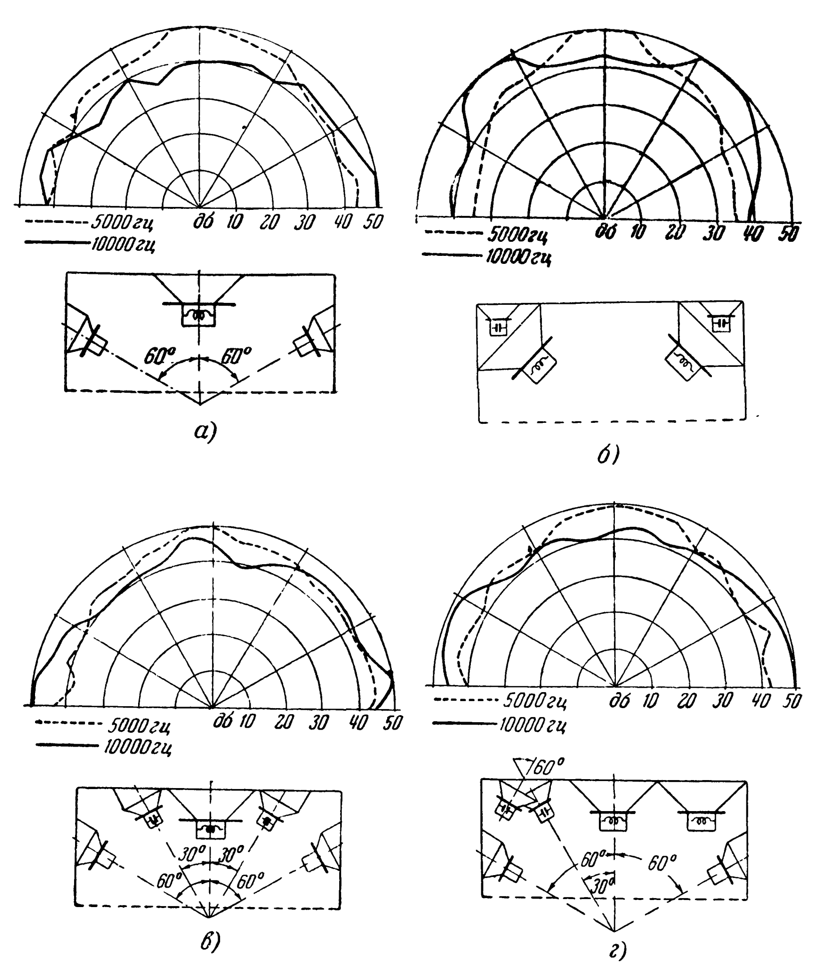


Рис. 12. Расположение громкоговорителей в футляре приемника и диаграммы направленности излучения различных акустических систем объемного звучания.

а — при трех громкоговорителях; *б* — при четырех громкоговорителях; *в* — при пяти громкоговорителях; *г* — при шести громкоговорителях.

На рис. 12,*а* показано расположение громкоговорителей и приведена диаграмма направленности излучения акустической системы, состоящей из трех электродинамических громкоговорителей. Здесь дополнительные громкоговорители верхних частот расположены под углом 60° к основному. Это привело к еще большему выравниванию характеристики направленности излучения на верхних частотах звукового диапазона.

В другой акустической системе объемного звучания (рис. 12,*б*) использованы четыре громкоговорителя: два основных — электродинамических и два дополнительных — электростатических. Дополнительные громкоговорители верхних частот установлены на передней доске футляра, а основные расположены под углом 45° к ней. Звук от основных громкоговорителей проходит как через отверстия в отражательной доске, так и сквозь прорези в боковых стенках футляра. В этом случае основные громкоговорители должны излучать весь спектр воспроизводимого диапазона частот.

Акустическая система объемного звучания, состоящая из пяти громкоговорителей, показана на рис. 12,*в*. В ней на отражательной доске установлен овальный электродинамический громкоговоритель с осями 180×210 *мм*, воспроизводящий нижние и средние частоты. Там же, но под углом 30° к основному громкоговорителю, помещены два электростатических громкоговорителя верхних частот диаметром по 70 *мм* каждый. На боковых стенках футляра под углом 60° к отражательной доске расположены два электродинамических громкоговорителя диаметром по 100 *мм*, излучающие верхние и средние частоты.

В акустической системе, приведенной на рис. 12,*г*, применено шесть громкоговорителей. Здесь на отражательной доске расположены два основных овальных электродинамических громкоговорителя с осями 180×210 *мм* и два электростатических громкоговорителя верхних частот диаметром по 70 *мм*, установленных под углом 60° один по отношению к другому. На боковых стенках футляра помещены электродинамические громкоговорители диаметром по 100 *мм*, излучающие средние и верхние частоты.

Приведенные варианты расположения громкоговорителей не следует принимать как обязательные. Так,

в современных отечественных радиолах «Люкс» и «Дружба» принята система объемного звучания, состоящая из четырех громкоговорителей, но расположены они не так, как показано на рис. 12,*б*. В этих радиолах в качестве основных использованы овальные громкоговорители типа 5ГД-14 с осями 170×260 *мм*, расположенные на отражательной доске. Дополнительные громкоговорители верхних частот, также овальные типа 1ГД-9 с осями 98×156 *мм*, помещены на боковых стенках футляра. Такая акустическая система воспроизводит диапазон частот 60—12 000 *гц* при неравномерности частотной характеристики до 14 *дб* и звуковом давлении до 15 *бар*. Неравномерность характеристики направленности излучения при угле поворота ±90° не превышает 15 *дб*.

Четыре громкоговорителя установлены и в приемнике «Фестиваль», но в нем на отражательной доске расположены основной громкоговоритель, воспроизводящий нижние и средние частоты, и громкоговоритель верхних частот. На боковых же стенках установлены громкоговорители, воспроизводящие средние и верхние частоты.

Пять громкоговорителей имеет акустическая система объемного звучания приемника «Беларусь-57». Отличается она от акустической системы радиол «Люкс» и «Дружба» лишь тем, что в ней на отражательной доске между основными громкоговорителями помещен третий громкоговоритель верхних частот.

Шесть громкоговорителей можно расположить и иначе, чем показано на рис. 12,*г*. Например, на отражательной доске, ближе к боковым стенкам, можно установить основные громкоговорители, воспроизводящие нижние и средние частоты, а между ними поместить под углом 30° к отражательной доске один под другим два дополнительных громкоговорителя верхних частот (угол между последними должен быть равен 60°). На боковых стенках футляра в этом случае размещают громкоговорители, воспроизводящие средние и верхние частоты.

Из характеристик направленности излучения акустических систем объемного звучания, приведенных на рис. 12, видно, что с увеличением числа громкоговорителей неравномерность излучения верхних частот становится меньшей. Это, конечно, приводит к повышению естественности воспроизведения приемника.

Все сказанное выше показывает, что на качество воспроизведения приемника сильно влияет расположение громкоговорителей в его футляре. Приведенные на рис. 13 диаграммы направленности иллюстрируют, как с изменением места установки дополнительных громкоговорителей в футляре одного и того же приемника изменяется характеристика направленности его излучения. Из них видно, что с увеличением угла между основным и дополнительными громкоговорителями расширяется диаграмма направленности излучения и уменьшается ее неравномерность. Большую роль здесь играет и ширина диаграммы направленности излучения дополнительных громкоговорителей: чем шире эта диаграмма, тем меньшую неравномерность будет иметь характеристика направленности излучения всей системы.

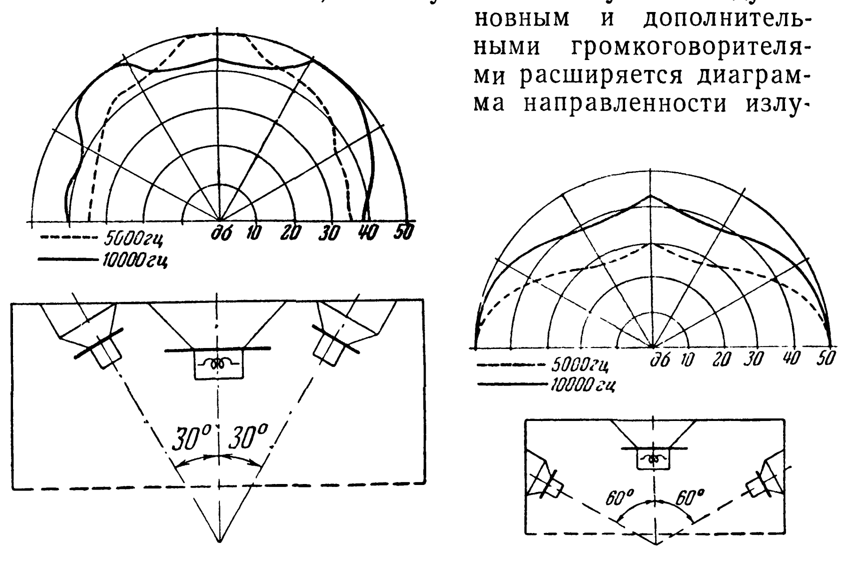


Рис. 13. Изменение характеристики направленности излучения акустической системы в зависимости от расположения громкоговорителей в футляре приемника.

Однако установить три и больше громкоговорителей можно лишь в футляре приемника значительных размеров (во всяком случае не меньше, чем 500×300×400 *мм*). А как же улучшить качество воспроизведения приемников, футляр которых имеет значительно меньшие размеры?

Многочисленные эксперименты показали, что получить эффект объемности звучания можно и с меньшим числом громкоговорителей. Так, в одном из приемников для создания эффекта объемности звучания были использованы два круглых электродинамических громкоговорителя диаметром по 220 *мм,* установленных под углом 70° один относительно другого (рис. 14). При этом звук, излучаемый этими громкоговорителями, включенными синфазно, проходит как через отверстия в отражательной доске, так и через вырезы в боковых стенках футляра. Для воспроизведения более широкого диапазона частот, а также для получения лучшей характеристики направленности излучения применены двухдиффузорные громкоговорители.

Рис. 14. Расположение громкоговорителей в футляре приемника, где акустическая система объемного звучания составлена из двух громкоговорителей.

В некоторых приемниках на отражательной доске и боковых стенках футляра дополнительно устанавливают один или несколько электродинамических или электростатических громкоговорителей небольшого диаметра, рассчитанных на воспроизведение только верхних частот. Подобная акустическая система, когда громкоговорители расположены под углом к отражательной доске, а против них имеются вырезы как в отражательной доске, так и в боковых стенках футляра, получила название «расположение громкоговорителей на большом экране».

Но оказалось, что и два громкоговорителя тоже не предел. Дальнейшие эксперименты доказали возможность получения эффекта объемности звучания всего лишь с одним громкоговорителем, если применять специальное устройство — распределитель звука (рис. 15,*а*). В этом случае на отражательной доске, которая помещена внутри футляра, устанавливается овальный двухдиффузорный громкоговоритель, воспроизводящий широкую полосу частот. К той же доске прикрепляется распределитель звука, выполненный в виде изогнутой под углом перфорированной полосы металла (рис. 15,*б*). Звуковые колебания, излучаемые громкоговорителем,

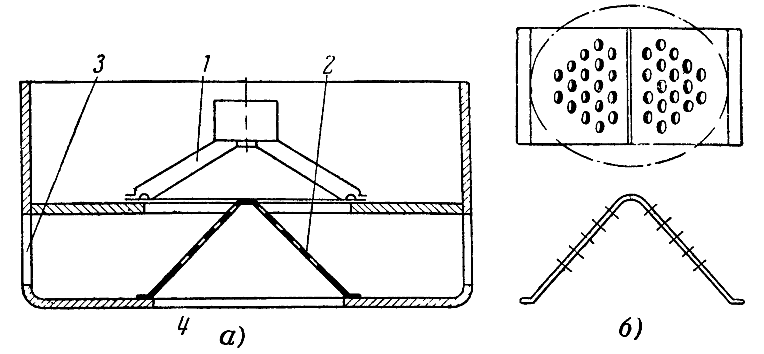


Рис. 15. Устройство акустической системы объемного звучания с одним громкоговорителем.

а — расположение громкоговорителя и распределителя звука в футляре (*1* — овальный громкоговоритель; *2* — распределитель звука; *3* — звуковые окна в боковых стенках; *4* — звуковое окно в отражательной доске); *б* — устройство распределителя звука.

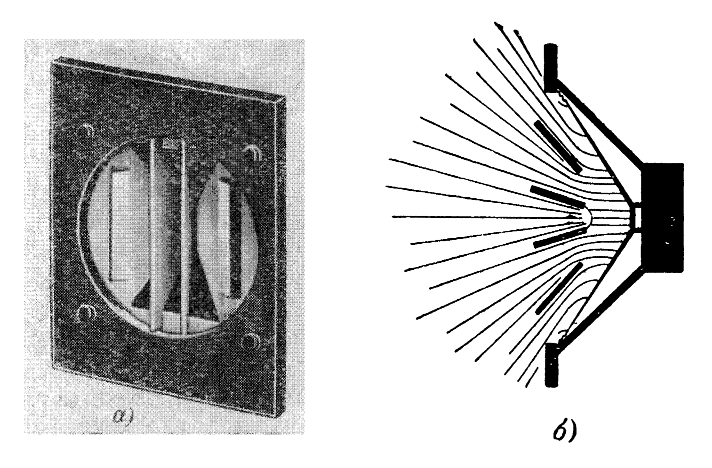


Рис. 16. Распределитель звука, предназначенный для установки на боковой стенке футляра приемника.

а — внешний вид; *б* — схема действия.

проходя сквозь отверстия в распределителе звука к окну в передней стенке футляра, а также отражаясь от стенок распределителя, попадают наружу через окна в боковых стенках. Для получения наименьшей неравномерности круговой характеристики излучения необходимо правильно выбрать угол перегиба распределителя, подобрав его с таким расчетом, чтобы отраженные от него звуковые колебания были направлены только через окна в боковых стенках футляра.

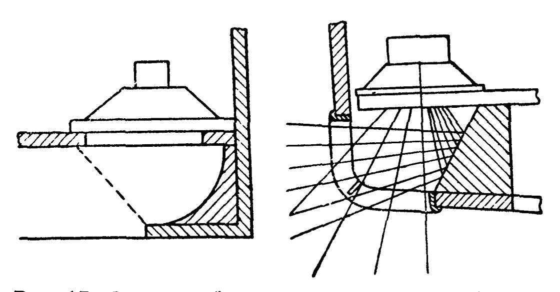


Рис. 17. Схемы действия распределителей звука при установке громкоговорителей на отражательной доске футляра.

Задачу получения эффекта объемности звучания с одним громкоговорителем можно решить и иначе. В одном из приемников, например, на передней панели футляра был установлен овальный электродинамический громкоговоритель, к задней стороне которого прикреплены два отражателя из гетинакса, направляющих излучаемые обратной стороной диффузора звуковые колебания через отверстия в боковых стенках, где установлены распределители звука.

Как уже говорилось ранее, для получения эффекта объемности звучания необходимо обеспечить ненаправленное излучение верхних звуковых частот. Для этой цели стали применять различные распределители звука, устанавливая их непосредственно перед громкоговорителями верхних частот. На рис. 16 показаны внешний вид и принцип действия одного из таких распределителей звука, устанавливаемого на боковой стенке футляра.

Для громкоговорителей, расположенных на отражательной доске футляра, применяются распределители

звука, образуемые стенками футляра или его архитектурным оформлением (рис. 17).

В некоторых случаях для улучшения качества звучания приемника громкоговорители верхних частот, устанавливаемые на боковых стенках футляра, помещают в специальные акустические камеры (резонаторы), изготовленные из тонкой фанеры (рис. 18). Электродинамический громкоговоритель, помещенный внутри такой камеры перед верхним отверстием в боковой стенке футляра, излучает сквозь это отверстие главным образом верхние звуковые частоты. Через нижнее же отверстие в боковой стенке проходят совпадающие по фазе средние и верхние частоты звукового диапазона, излучаемые обратной стороной диффузора.

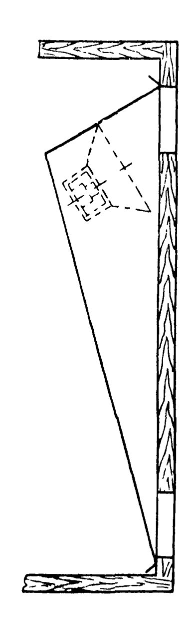


Рис. 18. Схема устройства акустической камеры-резонатора.

Введение таких камер заметно улучшает качество воспроизведения приемника, приближая его к наиболее естественному, а также повышает звуковое давление. Следует, однако, отметить, что положительные результаты с такой акустической системой можно получить лишь в том случае, если правильно будут выбраны объем камеры и размер (площадь) отверстий, в особенности нижнего.

АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОБЪЕМНОГО ЗВУЧАНИЯ 4R

Совершенно иначе построена акустическая система объемного звучания 4R (от слова Raumton, что означает «объемное звучание»). От акустической системы объемного звучания 3D она отличается тем, что дополнительные громкоговорители верхних частот в ней располагаются под верхней панелью футляра на специальной резонирующей планке (рис. 19,*а*). Сам футляр между верхней панелью и резонирующей планкой имеет по всему периметру вырезы, закрытые снаружи декоративной сеткой. Помимо этого, под верхней панелью перед диф-

фузором центрального громкоговорителя верхних частот установлен специальный конус, который рассеивает звуковые колебания, излучаемые этим громкоговорителем.

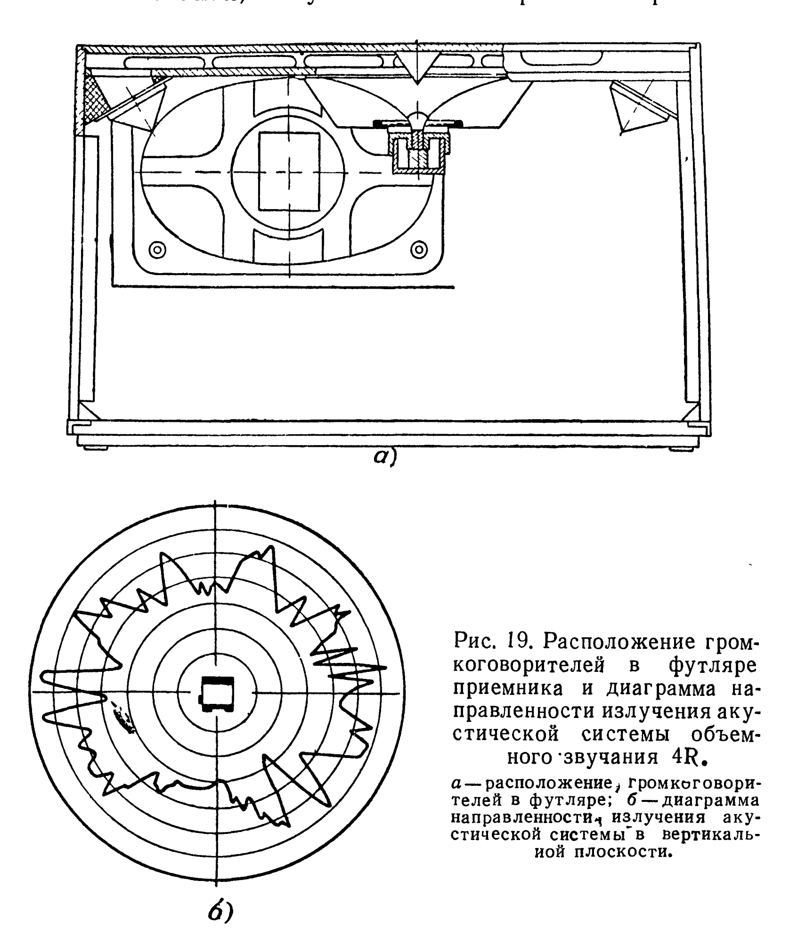


Рис. 19. Расположение громкоговорителей в футляре приемника и диаграмма направленности излучения акустической системы объемного звучания 4R.

а — расположение громкоговорителей в футляре; *б* — диаграмма направленности излучения акустической системы в вертикальной плоскости.

Верхние и средние частоты, излучаемые вверх центральным, а в некоторых моделях еще и боковыми громкоговорителями, проходят сквозь прорези в футляре и радиально распространяются во всех направлениях почти равномерно. Кроме того, благодаря наличию между верхней панелью и резонирующей планкой пустого пространства к. п. д. акустической системы 4R по-

вышается, особенно на средних и верхних частотах (800—8 000 *гц*). Все это позволяет получить естественное воспроизведение приемника, не зависящее от акустических особенностей помещения, в котором он установлен. Характеристика направленности излучения приемника с системой 4R получается почти кругообразной не только в горизонтальной плоскости, но и в вертикальной (рис. 19,*б*).

Впервые акустическая система объемного звучания 4R была применена фирмой Гретц в приемниках «Симфония 4R» и «Мелодия 4R». В первом из них в качестве основного использован овальный электродинамический громкоговоритель с осями 210×320 *мм*. На резонирующей планке расположен круглый электродинамический громкоговоритель верхних частот диаметром 100 *мм*. Дополнительно по углам футляра под углом к отражательной доске установлены еще два электростатических громкоговорителя верхних частот диаметром 70 *мм*. Расположение громкоговорителей в футляре приемника «Симфония 4R» показано на рис. 19,*а*.

Аналогичную акустическую систему объемного звучания применяют в своих приемниках и другие фирмы, но с той лишь разницей, что дополнительный громкоговоритель верхних частот устанавливается не на резонирующей планке, а непосредственно на верхней панели футляра. В этом случае окно в верхней панели покрывается пластмассовым наличником (решеткой), который предохраняет громкоговоритель от возможного повреждения и одновременно выполняет функцию распределителя звука.

По мнению многих специалистов, акустическая система объемного звучания 4R позволяет получить лучшие результаты, чем акустическая система 3D, особенно если низкочастотный тракт выполнен по двухканальной схеме.

В дальнейшем акустическая система объемного звучания 4R претерпела некоторые изменения. Дополнительный громкоговоритель верхних частот стали устанавливать не на резонирующей планке в верхней части футляра, а непосредственно на шасси, расположив его диффузором вниз (рис. 20). Звуковые колебания, излучаемые этим громкоговорителем, проходят сквозь отверстие в дне футляра и, отражаясь от поверхности пред-

мета, на котором установлен приемник, распространяются во все стороны. Чтобы обеспечить радиальное распространение звуковых колебаний, футляр приемника должен иметь либо прорези в нижней части, либо до-

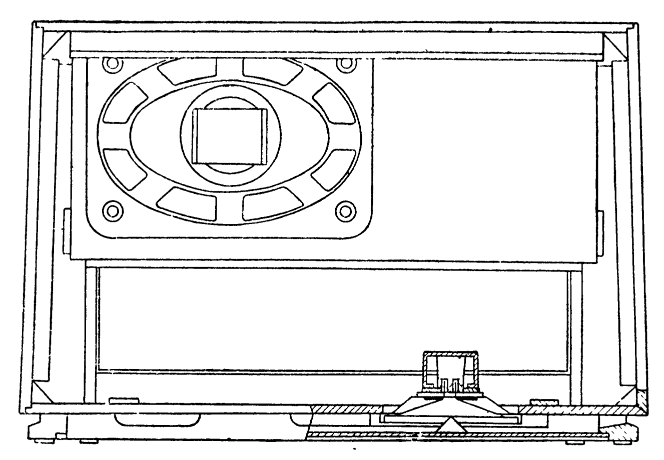


Рис. 20. Видоизменение расположения дополнительного громкоговорителя в акустической системе объемного звучания 4R.

вольно высокие ножки, при помощи которых между футляром приемника и предметом, на котором он установлен, образуется необходимое пустое пространство.

ВЫНОСНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Широкое распространение акустических систем объемного звучания, построенных по системе 3D, показало, что они обладают одним существенным недостатком, заключающимся в том, что эффект объемности звучания их не всегда проявляется достаточно отчетливо. Объясняется это невозможностью обеспечить в любом помещении и при любом расположении приемника одинаковое распространение звуковых колебаний, излучаемых боковыми громкоговорителями. Если же звуковые колебания от одного бокового громкоговорителя будут услышаны раньше или позже, чем от другого, то, естественно, эффект объемности звучания нарушится и все хорошие качества акустической системы, заложенные в ее конструкции, будут сведены на нет.

После тщательных исследований и многочисленных экспериментов было установлено, что указанный выше недостаток можно устранить, если вынести верхнечастотные громкоговорители из футляра приемника и поместить их отдельно. Так появились выносные акустические системы объемного звучания.

Поместив верхнечастотные громкоговорители вне футляра приемника, всегда удается подобрать такое их положение в комнате, при котором эффект объемности звучания проявляется наиболее полно. При этом, однако, не всегда нужно выносить из футляра оба громкоговорителя; в большинстве случаев бывает достаточно вынести только один.

Если, например, приемник помещен в углу комнаты или около предмета, загораживающего один из боковых громкоговорителей, то добавлением выносного громкоговорителя вместо закрытого бокового удается добиться эффекта объемности звучания.

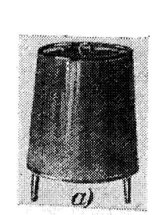
Выпускаемые в настоящее время приемники с акустической системой объемного звучания имеют, как правило, гнезда для подключения дополнительных выносных верхнечастотных громкоговорителей, прилагаемых к приемнику или продаваемых отдельно. При включении дополнительного громкоговорителя отключается соответствующий боковой громкоговоритель, установленный в футляре приемника.

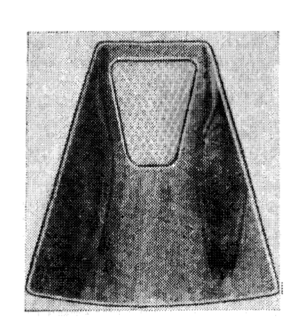
При вынесении обоих верхнечастотных громкоговорителей важно, чтобы они были помещены на примерно равном расстоянии от приемника и были направлены в ту часть комнаты, где наиболее удобно слушать передачи, причем эта часть комнаты должна быть не ближе 1,5—2 *м* от приемника. Различные варианты расположения выносных громкоговорителей должны подбираться опытным путем в индивидуальном порядке и дать какие-либо рекомендации заранее трудно.

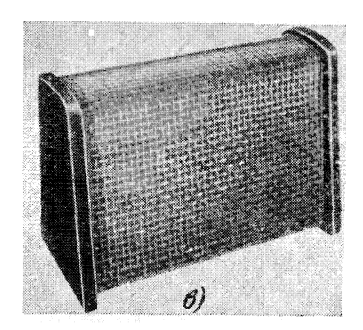
Вынесение верхнечастотных громкоговорителей из футляра приемника значительно улучшает качественные показатели акустической системы, позволяет наилучшим образом и в любом помещении получить эффект объемности звучания и добиться большой верности воспроизведения различных программ. Примером этому может служить отечественная радиола «Эстония-М», качество

звучания которой превосходит все другие отечественные приемники и радиолы настольного оформления.

В качестве выносных могут быть использованы как обычные электродинамические громкоговорители, предназначенные для воспроизведения верхних звуковых ча-







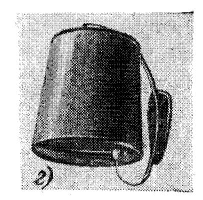


Рис. 21. Выносные верхнечастотные громкоговорители.
а — настольный, *б* и *г* — настенные; *в* — комбинированный

стот, так и специальные громкоговорители, о которых рассказывалось выше. Оформление выносных громкоговорителей может быть различным. На рис. 9,*б* был показан один из возможных вариантов настольного оформления верхнечастотного громкоговорителя, составленного из двух электродинамических громкоговорителей. Некоторые другие варианты внешнего оформления выносных громкоговорителей показаны на рис. 21.

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Особенности построения схем стереофонических приемников и усилителей низкой частоты предопределили и принципы построения стереофонических акустических систем. Как будет подробно рассказано ниже, для получения стереофонического эффекта нужно иметь два примерно одинаковых канала усиления. Соответственно этому требуются и две одинаковые по своим параметрам акустические системы.

Эффект стереофонического звучания, когда слушатель может не только различить, например, какой инструмент в оркестре звучит в данное время, но может определить и местоположение этого инструмента, построен на основе физиологических свойств слуха различать нахождение источника звука в зависимости от интенсивности его воздействия на каждое ухо в отдельности. Если, например, скрипка слышна громче слева, чем справа, то и впечатление создается, что она расположена слева.

Стереофонический эффект звучания достигается разнесением на некоторое расстояние один от другого громкоговорителей акустической системы, подключенных к самостоятельным усилителям. Эффект стереофонического звучания наиболее полно проявляется на верхних частотах звукового диапазона, которые, как было указано выше, обладают направленностью распространения. Если в акустических системах объемного звучания стремились достичь ненаправленного распространения верхних звуковых частот и тем обеспечить широкую диаграмму направленности излучения, то в акустических системах стереофонического звучания, наоборот, требуется создать некоторую направленность излучения верхних звуковых частот. В этом принципиальное отличие стереофонических акустических систем от акустических систем объемного звучания.

То обстоятельство, что нижние звуковые частоты распространяются равномерно вне зависимости от свойств акустической системы и ее расположения в помещении, наложило некоторый отпечаток на принципы построения акустических систем стереофонического звучания и схем усилителей низкой частоты, питающих эти системы. Так, оказалось возможным использовать для обоих каналов один громкоговоритель нижних частот, не теряя при

этом стереофонического эффекта звучания. В результате получилась акустическая система стереофонического звучания, состоящая из трех громкоговорителей, один из которых нижнечастотный и два верхнечастотных.

Простейшая стереофоническая акустическая система может быть составлена и из двух однотипных громко-



Рис. 22. Простейшая стереофоническая акустическая система для проигрывателя.

говорителей, разнесенных на такое расстояние, при котором возможно различать, с какой стороны слышен звук. Опытным путем установлено, что минимальное расстояние между центрами громкоговорителей или акустических систем должно быть порядка 30—50 *см*. Это расстояние, называемое базовым, может изменяться в зависимости от расположения систем в комнате, акустических свойств помещения и степени отражения звуковых волн от стен и мебели. Однако при любых условиях базовое расстояние не должно превышать 2—3 *м*. При большем расстоянии между акустическими системами эффект стереофонического звучания нарушится и слушателю будет казаться, что звук слышится из двух различных точек. Наибольшее проявление стереофонического эффекта наблюдается в том случае, когда слушатель находится от акустической системы на расстоянии 0,7—1,4 от базового.

На рис. 22 показан стереофонический радиограммофон (проигрыватель), акустическая система которого составлена из двух громкоговорителей, размещенных

в разъемной крышке футляра. При транспортировке эти крышки складываются вместе и прикрепляются к футляру.

В настольных стереофонических приемниках и радиолах акустическая система может состоять из трех громкоговорителей с таким же расположением их внутри футляра приемника, как и в приемнике с акустической системой объемного звучания. В одном из таких приемников, например, нижнечастотный громкоговоритель (общий для обоих каналов) установлен на фронтальной стороне футляра, а громкоговорители, воспроизводящие верхние и средние частоты звукового диапазона (каждый для одного из каналов), — на боковых стенках футляра. При таком построении акустической системы проявление стереофонического эффекта возможно лишь в том случае, если приемник установлен в углу комнаты (рис. 23,*а*) и звуковые колебания, излучаемые боковыми громкоговорителями, отражаются от стен или мебели. Чтобы приемник можно было расположить в любой части комнаты, его снабжают гнездами для подключения выносных громкоговорителей (одного или двух), причем при включении последних автоматически отключаются громкоговорители, встроенные в приемник.

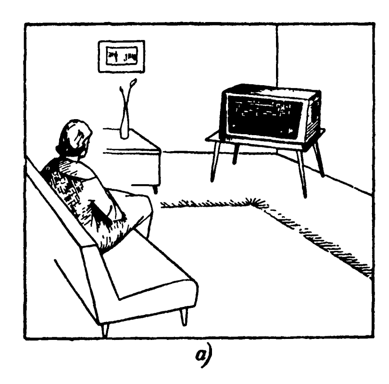
В более сложных моделях настольных стереофонических приемников акустическую систему составляют из четырех, пяти и более громкоговорителей.

При четырех громкоговорителях нижнечастотные громкоговорители чаще всего помещают на лицевой панели футляра, а верхнечастотные — на боковых стенках. Однако применяют и другое построение стереофонической акустической системы. Так, например, в одном из зарубежных приемников все четыре громкоговорителя помещены на передней панели футляра и расположены симметрично, причем в центре установлены нижнечастотные громкоговорители, а по бокам — верхнечастотные. В другом приемнике громкоговорители, воспроизводящие низкие звуковые частоты, помещены на боковых стенках футляра, а верхнечастотные — на лицевой панели у боковых стенок.

При пяти громкоговорителях наиболее часто встречается такое их расположение; нижнечастотный громкоговоритель помещают в центре лицевой панели футляра, по обе стороны от него располагают громкоговорители

верхних частот, а на боковых стенках футляра устанавливают громкоговорители, воспроизводящие средние и верхние частоты звукового диапазона. Возможно, конечно, и другое расположение громкоговорителей.

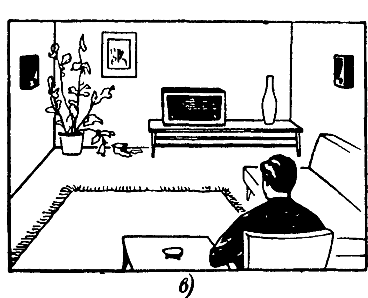
Выпускаются приемники и с большим числом громкоговорителей. В акустической системе стереофониче-



а)



б)



в)

Рис. 23. Расположение стереофонического приемника в комнате.

а — в углу комнаты, *б* — с одним выносным громкоговорителем; *в* — с двумя выносными громкоговорителями.

ского звучания одного из приемников, например, используется шесть громкоговорителей, четыре из которых (два нижнечастотных и два для воспроизведения средних и верхних частот) установлены внутри футляра приемника, а два верхнечастотных сделаны выносными и подключаются к приемнику дополнительно.

В качестве нижнечастотных обычно используются овальные громкоговорители с размерами по осям 260×180 *мм* или круглые диаметром 240—320 *мм*. Верхнечастотные громкоговорители, как правило, бывают электродинамические диаметром 65—130 *мм*. Пьезо-

электрические и электростатические громкоговорители в стереофонических акустических системах не используют, так как они развивают сравнительно малое звуковое давление, а подключение некоторых из них (например, электростатических) неудобно при вынесении из футляра приемника.

В консольных моделях радиол, магнитол и телерадиол со стереофоническим звучанием акустическую систему чаще всего располагают по бокам футляра. Произвольное разнесение базы между акустическими системами с целью добиться наилучшего стереофонического эффекта в этом случае невозможно. Поэтому в таких моделях устанавливают две идентичные широкополосные акустические системы, состоящие из двух и более громкоговорителей в каждой. Особое внимание при этом обращают на излучение верхних звуковых частот.

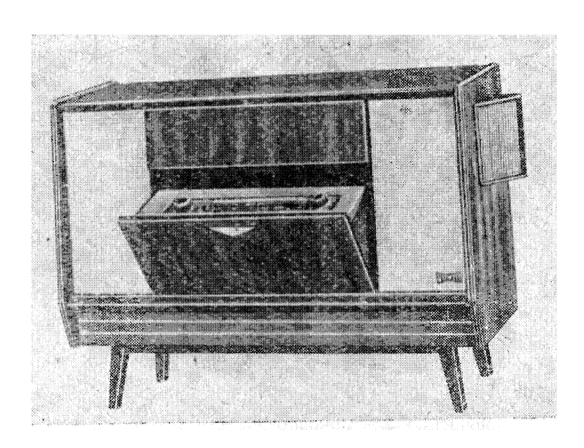


Рис. 24. Внешний вид консольной стереофонической радиолы.

В качестве примера отметим оригинальное размещение верхнечастотных громкоговорителей в футляре радиолы, внешний вид которой показан на рис. 24. Верхнечастотные громкоговорители здесь помещены в специальные камеры, которые могут поворачиваться вокруг одной из своих сторон, выдвигаясь наружу. Такое размещение громкоговорителей и возможность направлять

их излучение позволяют добиться стереофонического эффекта звучания почти при любом расположении радиолы в помещении.

В более дорогих моделях консольных стереофонических радиол акустическую систему делают выносной, состоящей обычно из двух звуковых колонок. В каждой колонке (рис. 25) размещают несколько различных громкоговорителей (минимально два), обеспечивающих излучение широкого спектра звуковых частот. В большинстве случаев звуковая колонка имеет три и более громкоговорителей, различных по полосе воспроизведения и мощности.

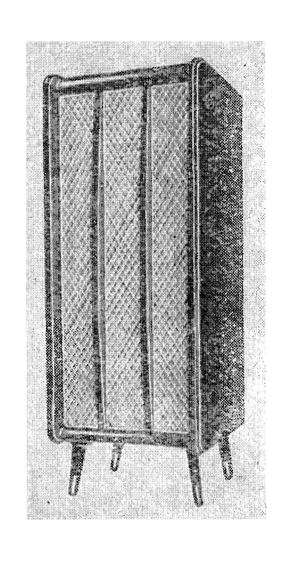


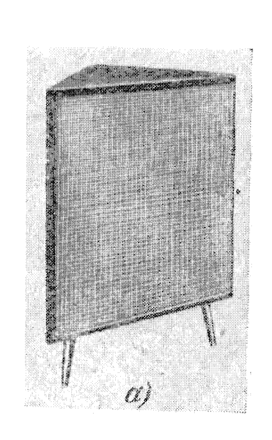
Рис. 25. Внешний вид акустической колонки, применяемой в стереофонических акустических системах.

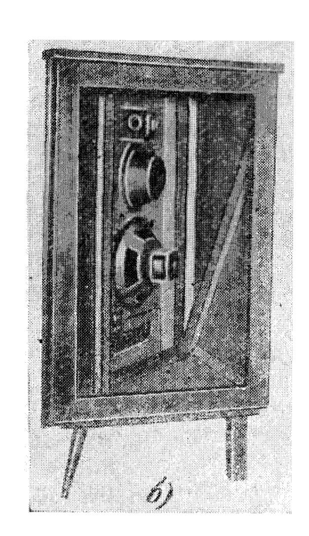
Рассмотрим в качестве примера устройство одной из звуковых колонок, состоящей из четырех громкоговорителей (рис. 26). В верхней части колонки под углом к лицевой панели установлено два верхнечастотных громкоговорителя с диффузорами диаметром 65 *мм* каждый. Эти громкоговорители при мощности 2 *вт* воспроизводят полосу частот 1 600—15 000 *гц*. Ниже помещен под экраном двухваттный громкоговоритель с диффузором диаметром 128 *мм*, воспроизводящий полосу частот 150—8 000 *гц*. Однако наличие глухого акустического экрана изменяет частотную характеристику громкоговорителя и он в данной акустической системе эффективно воспроизводит полосу частот 500—9 000 *гц*. Еще ниже расположен 8-ваттный громкоговоритель с диффузором диаметром 245 *мм*, воспроизводящий полосу частот 60—10 000 *гц*. Под этим громкоговорителем сделано окно для акустического фазоинвертора.

Все громкоговорители, входящие в звуковую колонку, включены по схеме, приведенной на рис. 26,*в*. Эта звуковая колонка при подведении к ней мощности

в 10 *вт* эффективно воспроизводит полосу частот 30—15 000 *гц*.

В заключение описания стереофонических акустических систем необходимо отметить, что еще нет единого и четкого мнения о наиболее рациональном расположе-





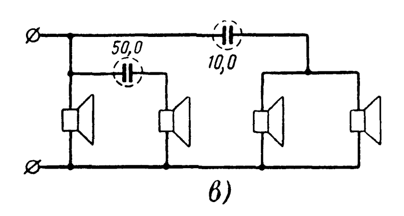


Рис. 26. Звуковая колонка с четырьмя громкоговорителями.

а — внешний вид; *б* — устройство; *в* — схема включения громкоговорителей.

нии громкоговорителей в футляре приемника. До сих пор, например, расходятся мнения о том, должны ли сигналы от обоих стереофонических каналов электрического тракта подводиться к боковым или только к фронтальным громкоговорителям.

Если подать сигналы обоих стереофонических каналов только на фронтальные громкоговорители, то величина базы ограничивается шириной футляра приемника. Если же хотя бы часть звуковой энергии подвести к громкоговорителям, излучение которых направлено в стороны, то при правильной установке такого приемника в комнате можно добиться некоторого, кажущегося на слух расширения базы. Однако следует иметь в виду, что в случае неудачного расположения такого приемника в помещении качество его звучания заметно ухудшится по сравнению с приемниками, имеющими фронтально расположенные громкоговорители. Мнение большинства конструкторов, однако, сходится на том, что избежать этих недостатков можно только применением выносных громкоговорителей и подбором их расположения для каждого помещения в отдельности.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ТРАКТ

В предыдущих главах мы рассказали о новых громкоговорителях и акустических системах, применяемых в современных радиовещательных приемниках. Но, как указывалось выше, добиться действительно высокого качества звучания можно лишь в том случае, если весь тракт приемника, начиная от антенного входа и кончая акустической системой, будет пропускать достаточно широкую полосу частот. При современном состоянии техники радиоприема, когда высокочастотная часть доведена до относительно высокой степени совершенства, наибольшее значение приобретает совершенствование усилителя низкой частоты с тем, чтобы совместно с акустической системой обеспечить пропускание необходимой полосы звуковых частот, а в особых случаях и скорректировать частотную характеристику акустической системы.

Для обеспечения высококачественного воспроизведения разнообразных программ необходимо, чтобы усилитель низкой частоты совместно с акустической системой пропускали полосу частот от 60—80 до 10 000—12 000 *гц*. Помимо этого, в большинстве случаев бывает весьма

желательным предусмотреть подъем частотной характеристики низкочастотного тракта на 6—15 *дб* как на нижних (60—500 *гц*), так и на верхних (5 000—12 000 *гц*) частотах, что также благоприятно сказывается на воспроизведении передач, особенно музыкальных. Кроме того, необходимо обеспечить возможность раздельного регулирования тембра на нижних и верхних частотах, а также разделение полосы на каналы в случае применения акустической системы объемного звучания.

Выполнение перечисленных требований не представляет особой сложности, хотя такой усилитель низкой частоты в ряде случаев может иметь сравнительно большое число ламп и деталей. Ниже приводятся разнообразные схемы усилителей низкой частоты, в том числе и для приемников с акустической системой объемного или стереофонического звучания.

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ТРАКТ С РАЗДЕЛЕНИЕМ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ НА КАНАЛЫ

В приемниках с акустической системой из нескольких громкоговорителей для достижения высокого качества звучания необходимо, чтобы к каждому громкоговорителю подводилась соответствующая полоса частот. Примером такого включения громкоговорителей может служить схема низкочастотного тракта, приведенная на рис. 27. Здесь дополнительный пьезоэлектрический громкоговоритель $Гр_2$ подключен к аноду оконечной лампы через фильтр $R_{16}C_{11}$, пропускающий только средние и верхние частоты. Величину подводимого к нему звукового напряжения можно изменять переменным сопротивлением R_{14}. Это же сопротивление используется еще и как регулятор тембра верхних частот в цепи управляющей сетки оконечной лампы. Такая комбинированная регулировка позволяет получить значительное изменение частотной характеристики в области верхних частот.

Регулировка нижних частот производится переменным сопротивлением R_1, осуществляющим лишь завал нижних частот. Необходимый подъем этих частот обеспечивается цепочкой $R_3C_3R_5$ и частотно-зависимой обратной связью.

Фильтр R_3C_3 служит для компенсации тембра при регулировании громкости. Следует отметить, что в ши-

рокополосных усилителях низкой частоты регуляторы громкости с тонкомпенсацией используются очень часто, а в некоторых усилителях, например для стереофонического воспроизведения, они весьма необходимы.

Целесообразность применения тонкомпенсированных регуляторов громкости объясняется особенностью уха

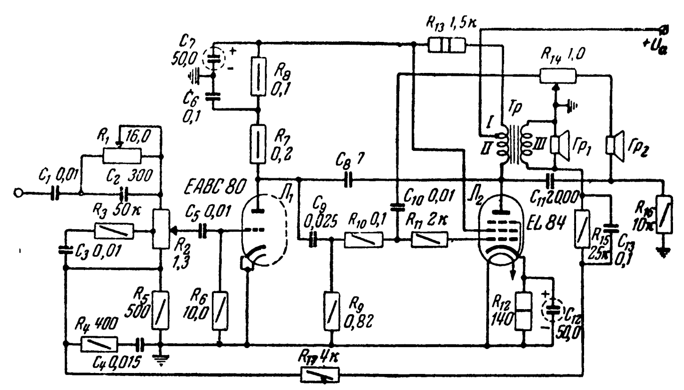


Рис. 27. Схема низкочастотного тракта приемника с пьезоэлектрическим громкоговорителем верхних частот.

реагировать на громкость воспроизведения в зависимости от частоты и силы звука. Эта зависимость выражается так называемыми кривыми равной громкости. Из этих кривых следует, что с понижением громкости воспроизведения слуховое восприятие нижних частот значительно ослабляется, в то время как восприятие средних частот изменяется мало. Чтобы сохранить естественное соотношение громкостей различных частот при одновременном их ослаблении, в низкочастотный тракт вводят регулятор громкости с тонкомпенсацией, который создает неизменный для слуха тембр звучания при разных громкостях воспроизведения.

На рис. 28 приведена другая схема аналогичного усилителя низкой частоты, где для воспроизведения верхних частот использован электростатический громкоговоритель $Гр_2$. Он подключен к аноду оконечной лампы через разделительный конденсатор небольшой емкости C_{11}. Вследствие этого к громкоговорителю подводятся только средние и верхние частоты. Регуляторы тембра верхних (R_7) и нижних (R_8) частот включены в цепь частот-

но-зависимой отрицательной обратной связи, охватывающей весь низкочастотный тракт.

Выше мы рассказали о приемнике, у которого три громкоговорителя расположены на отражательной доске в соответствии с местоположением инструментов в оркестре. На рис. 29 приведена схема низкочастотного тракта этого приемника, обеспечивающая по своим электрическим параметрам воспроизведение широкой

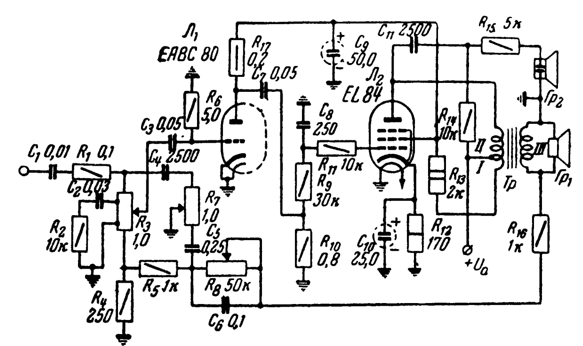


Рис. 28. Схема усилителя с дополнительным электростатическим громкоговорителем верхних частот.

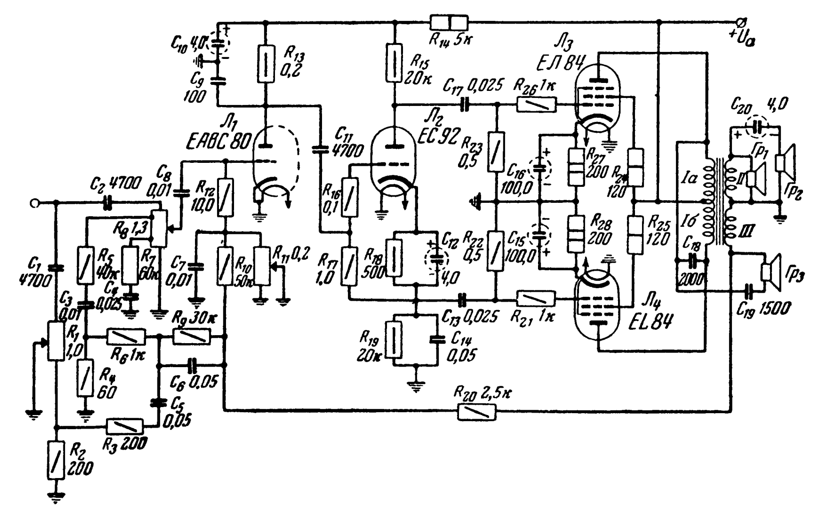


Рис. 29. Схема усилителя с тремя различными громкоговорителями, которые расположены на отражательной доске футляра в соответствии с местоположением инструментов в оркестре.

полосы частот. Разделение спектра звуковых частот на каналы произведено на выходе приемника. К основному громкоговорителю $Гр_1$ подводится весь спектр частот. Среднечастотный громкоговоритель $Гр_2$ подключен ко вторичной обмотке выходного трансформатора через конденсатор C_{20}, задерживающий нижние звуковые частоты (подробно о назначении этого конденсатора будет рассказано ниже). Пьезоэлектрический громкоговоритель верхних частот $Гр_3$ включен в цепь отрицательной обратной связи. В качестве регулятора тембра верхних частот использовано сопротивление R_1, а нижних — сопротивление R_{11}.

Приведенные нами схемы усилителей низкой частоты хотя и рассчитаны на воспроизведение широкой полосы частот, находят применение лишь в тех случаях, когда используется простая акустическая система.

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С ОДНОТАКТНЫМ ВЫХОДНЫМ КАСКАДОМ

В современных усилителях низкой частоты, предназначенных для работы в приемниках с широкополосной акустической системой, решающую роль играют разделение пропускаемой усилителем полосы звуковых частот на каналы и подведение соответствующих частот к отдельным группам громкоговорителей. Только при выполнении этого условия можно добиться эффекта объемности звучания или стереофонического эффекта.

Разделение полосы воспроизводимых приемником частот на каналы необходимо еще и для того, чтобы снизить возникающие в широкополосном низкочастотном тракте интермодуляционные искажения. Этот вид искажений, проявляющийся в том, что при сильной басовой передаче верхние звуковые частоты дополнительно модулируются нижними звуковыми частотами, имеет место, когда полоса пропускания простирается от 50—70 до 10 000—12 000 *гц*.

В приемниках с низкочастотным трактом на полосу частот от 80—100 до 5 000—7 000 *гц* интермодуляционные искажения сказываются незначительно и их можно не принимать во внимание. Однако в приемниках с акустической системой объемного звучания, где усилитель

низкой частоты должен пропускать широкий спектр звуковых частот, неминуемо возникает модуляция какой-либо верхней звуковой частоты другой более низкой частотой, а это и приводит к интермодуляционным искажениям. В результате звучание приемника искажается.

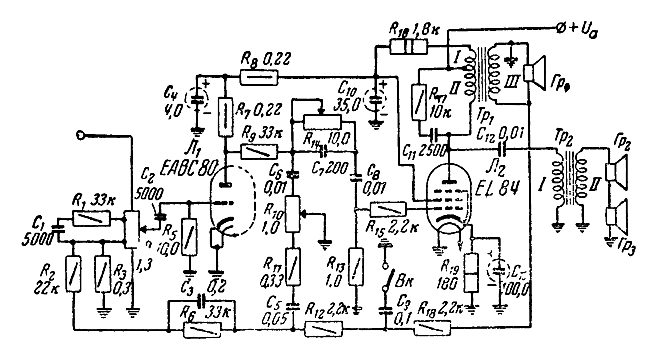


Рис. 30. Схема усилителя низкой частоты приемника с акустической системой объемного звучания, в котором разделение полосы воспроизводимых частот на каналы производится на выходе при помощи двух выходных трансформаторов.

Наиболее распространено разделение полосы частот на выходе низкочастотного тракта. Одна из таких схем приведена на рис. 30. Здесь регулятор громкости R_4— компенсированный. Он имеет два отвода, к которым подключены корректирующие цепочки, связанные с частотно-зависимой отрицательной обратной связью. Благодаря этому достигается подъем частотной характеристики в области нижних частот. Регулятор нижних частот R_{14} позволяет лишь заваливать частотную характеристику. Верхние частоты регулируются потенциометром R_{10}, включенным одновременно в цепь отрицательной обратной связи и в цепь управляющей сетки оконечной лампы. Этот регулятор позволяет получить как подъем, так и завал частотной характеристики. Выключатель *Вк* предназначен для сужения полосы воспроизводимых частот при прослушивании граммзаписей и АМ радиостанций.

К аноду оконечной лампы рассматриваемой схемы подключены два выходных трансформатора: Tp_1 и Tp_2. Первый из них питает основной электродинамический

громкоговоритель $Гр_1$, воспроизводящий нижние и средние частоты. Параллельно первичной обмотке этого трансформатора включена цепочка $R_{17}C_{11}$, корректирующая частотную характеристику на частоте 4000—5000 *гц*. Трансформатор $Тр_2$ питает электродинамические громкоговорители верхних частот $Гр_2$ и $Гр_3$. Он подключен к аноду оконечной лампы через конденсатор C_{12}, емкость которого выбрана с таким расчетом, чтобы его реактивное сопротивление на принятой граничной частоте было равно входному сопротивлению трансформатора $Тр_2$. Вследствие этого нижние звуковые частоты подводятся только к выходному трансформатору $Тр_1$, а верхние — и к громкоговорителям верхних частот, которые из-за высокого реактивного сопротивления конденсатора C_{12} нижних звуковых частот не воспроизводят.

Сопротивление нагрузки оконечной лампы на верхних звуковых частотах состоит из параллельно включенных выходных трансформаторов $Тр_1$ и $Тр_2$ с сопротивлениями Z_1 и Z_2. Распределение мощности между громкоговорителями зависит от соотношения этих сопротивлений. Если Z_2 больше Z_1, то к громкоговорителям верхних частот будет подводиться меньшая звуковая мощность. Если же Z_2 меньше Z_1, то меньшая звуковая мощность будет подводиться к основному громкоговорителю.

Изменение распределения мощностей между группами громкоговорителей сказывается в первую очередь на диаграмме направленности излучения. Равномерное излучение как верхних, так и нижних частот звукового диапазона получается только при правильном выборе соотношения между сопротивлениями Z_1 и Z_2.

Другой вариант разделения частот на выходе усилителя показан на рис. 31. Здесь все громкоговорители питаются от одного выходного трансформатора, но громкоговорители верхних частот подключены к выводам вторичной обмотки через конденсатор большой емкости C_{14}. Отличие этой схемы от предыдущей заключается в том, что емкость разделительного конденсатора C_{14} выбирается с таким расчетом, чтобы его реактивное сопротивление на принятой граничной частоте было равно полному сопротивлению звуковых катушек громкоговорителей верхних частот на этой же частоте.

Приведенные схемы усилителей низкой частоты с разделением полосы воспроизводимых частот на выходе различаются лишь способом включения громкоговорителей. На первый взгляд кажется, что схему на рис. 31 осуществить легче. Однако в действительности это не так. Ведь в этом случае выходной трансформатор должен пропускать широкую полосу частот (не у́же, чем 80—10 000 *гц*), но для этого необходимо, чтобы индук-

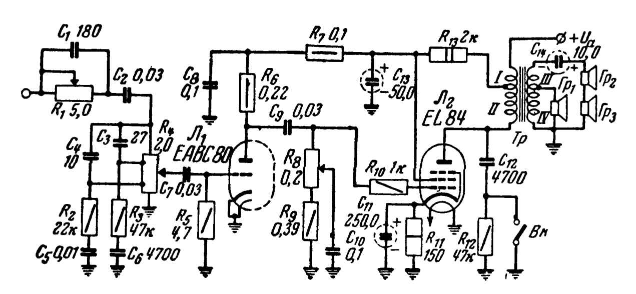


Рис. 31. Схема низкочастотного тракта приемника с акустической системой объемного звучания, в котором разделение полосы воспроизводимых частот на каналы производится на выходе при помощи разделительного конденсатора.

тивность его первичной обмотки была по возможности большой, а индуктивность рассеяния — минимальной. Совместить эти противоречивые требования весьма трудно, ибо для этого потребуется применить значительных размеров сердечник, а также чередование обмоток. Помимо этого, расчет, конструирование и изготовление широкополосного выходного трансформатора, предназначенного питать различные группы громкоговорителей, значительно труднее.

Другое дело, когда в оконечном каскаде усилителя низкой частоты имеются два самостоятельных выходных трансформатора. Тогда один из них, питающий основной громкоговоритель нижних частот, должен пропускать только нижние и средние частоты (от 60—80 до 3 000—5 000 *гц*), а другой — только верхние частоты (от 1 000—2 000 до 10 000—12 000 *гц*). Первый выходной трансформатор по своим параметрам, размерам и конструкции мало чем отличается от обычного выходного трансформатора, применяемого в приемниках с простой

акустической системой. Второй выходной трансформатор для громкоговорителей верхних частот должен пропускать только верхние частоты и поэтому может иметь небольшую индуктивность первичной обмотки. Если такой трансформатор намотать, например, на стальной сердечник из пластин типа УШ-12, то количество витков

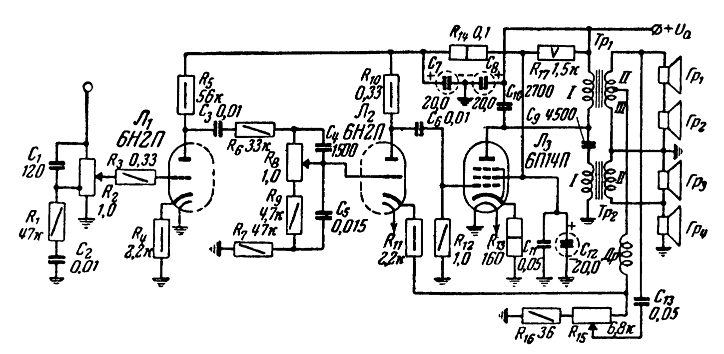


Рис. 32. Схема низкочастотного тракта с однотактным выходным каскадом унифицированных отечественных приемников с акустической системой объемного звучания.

в его первичной обмотке будет невелико и принимать какие-либо специальные меры для уменьшения индуктивности рассеяния не потребуется.

Мы остановились столь подробно на схеме усилителя низкой частоты с двумя выходными трансформаторами еще и потому, что в своей практической деятельности радиолюбителю приходится иметь дело почти исключительно с электродинамическими громкоговорителями. В этом случае лучших результатов при более простом способе питания громкоговорителей можно добиться лишь со схемой низкочастотного тракта, показанной на рис. 30, которая, кроме всего прочего, позволяет легко подобрать частоту разделения каналов путем изменений емкости разделительного конденсатора к выходному трансформатору $Тр_2$.

В выходном каскаде большинства отечественных приемников с акустической системой объемного звучания применяются два выходных трансформатора. Одна из таких схем приведена на рис. 32. Она рассчитана на использование четырех электродинамических громкоговорителей. Два из них — основные, типа 2ГД-3, располо-

жены на отражательной доске и питаются от выходного трансформатора $Тр_1$. Дополнительные громкоговорители верхних частот, в качестве которых применены овальные громкоговорители типа 1ГД-9, установлены на боковых стенках футляра и питаются от выходного трансформатора $Тр_2$, соединенного с анодом оконечной лампы через конденсатор небольшой емкости C_9. Усилитель имеет

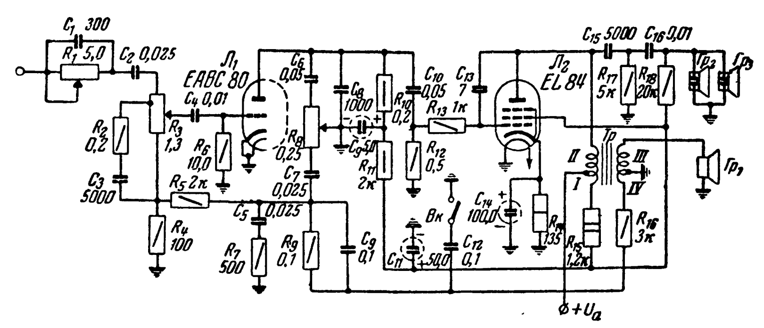


Рис. 33. Схема простого усилителя низкой частоты с однотактным выходным каскадом для акустической системы объемного звучания, состоящей из трех громкоговорителей.

раздельную регулировку тембра нижних (R_8) и верхних (R_{15}) звуковых частот и охвачен отрицательной обратной связью, которая подается с отвода вторичной обмотки выходного трансформатора на катод правого триода лампы $Л_1$ типа 6Н2П.

Трансформатор $Тр_1$ может быть собран на сердечнике из пластин УШ-16 при толщине пакета 24 *мм*. Обмотка *I* состоит из 2 600 витков провода ПЭЛ 0,12, обмотка *II* — из 90 и обмотка *III* — из трех витков ПЭЛ 0,64. Трансформатор $Тр_2$ собран из пластин УШ-9 при толщине пакета 12 *мм*. Обмотка *I* состоит из 2 000 витков провода ПЭЛ 0,12, а обмотка *II* — из 28 витков ПЭЛ 0,51. Дроссель *Др* индуктивностью 40 *мгн* намотан на каркасе диаметром 8 *мм* и содержит 2 900 витков провода ПЭЛ 0,12 (сопротивление обмотки постоянному току 165±15 *ом*).

Как уже указывалось, зарубежные фирмы широко используют в акустических системах приемников среднего класса с объемным звучанием пьезоэлектрические и электростатические громкоговорители верхних частот. Объясняется это тем, что, например, пьезоэлектрические

громкоговорители проще и дешевле электродинамических, а для включения их не требуется выходного трансформатора.

На рис. 33 показана схема усилителя низкой частоты, где в качестве громкоговорителей верхних частот используются электростатические громкоговорители $Гр_2$ и $Гр_3$. Они подключены к аноду оконечной лампы через

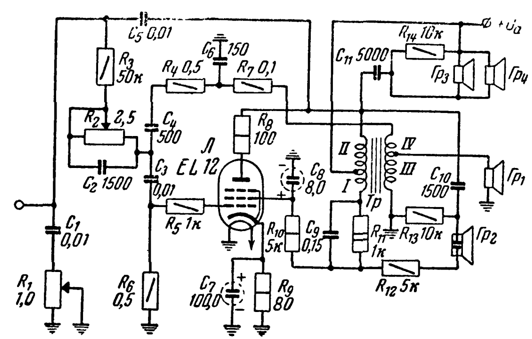


Рис. 34. Схема однотактного оконечного каскада для приемника с акустической системой объемного звучания, в которой использованы электродинамический, пьезоэлектрические и электростатический громкоговорители.

фильтр $R_{17}C_{15}C_{16}$, который задерживает частоты, лежащие ниже граничной.

Еще более равномерное излучение всей полосы воспроизводимых приемником частот и расширение диаграммы направленности излучения, а вместе с этим и резкое улучшение качества звучания получаются, когда диапазон частот усилителя разбит на три канала, а акустическая система имеет три группы громкоговорителей. Естественно, что при этом наиболее простое схемное и конструктивное решение низкочастотного тракта опять-таки получается при использовании электростатических и пьезоэлектрических громкоговорителей.

Примером этого может служить схема оконечного каскада, показанная на рис. 34. Здесь основной электродинамический громкоговоритель $Гр_1$, воспроизводящий нижние и средние частоты (устанавливается на передней стенке футляра), связан с оконечной лампой через

выходной трансформатор *Тр*. Электростатический громкоговоритель *Гр*$_2$ (помещен рядом с *Гр*$_1$) подключен к аноду оконечной лампы через фильтр $R_{13}C_{10}$. Благодаря этому он воспроизводит лишь средние и верхние частоты. Пьезоэлектрические громкоговорители верхних частот *Гр*$_3$ и *Гр*$_4$ (установлены на боковых стенках футляра) присоединены к оконечной лампе через фильтр

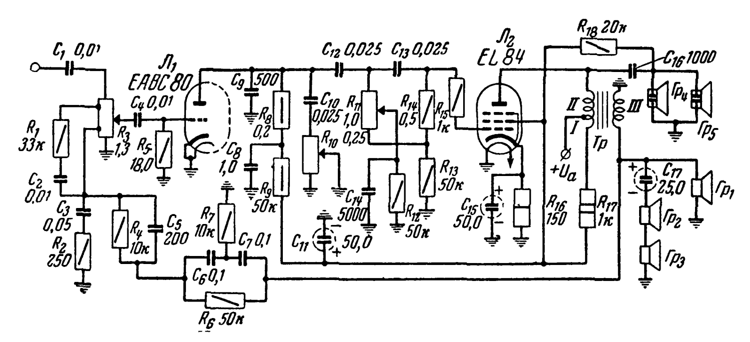


Рис. 35. Схема однотактного усилителя низкой частоты для приемника с акустической системой объемного звучания, состоящей из пяти громкоговорителей.

$R_{14}C_{11}$. Регуляторы тембра верхних (R_1) и нижних (R_2) частот помещены на входе оконечного каскада и позволяют лишь заваливать частотную характеристику. Необходимый подъем ее создается двумя цепями отрицательной обратной связи, напряжение одной из которых снимается с анода оконечной лампы, а другой — со вторичной обмотки выходного трансформатора.

Другая схема усилителя низкой частоты, где также использованы три группы громкоговорителей, приведена на рис. 35. В этой схеме основной громкоговоритель *Гр*$_1$ подключен непосредственно к выводам вторичной обмотки выходного трансформатора *Тр*, а громкоговорители средних частот — к той же обмотке, но через конденсатор большой емкости C_{17}. Электростатические громкоговорители верхних частот *Гр*$_4$ и *Гр*$_5$ соединены с анодом оконечной лампы через фильтр $R_{18}C_{16}$, задерживающий нижние и средние частоты. Одновременно через сопротивление R_{18} на громкоговорители подается постоянное напряжение, необходимое для создания электростатического поля.

Выше говорилось о выносных громкоговорителях, используемых для достижения наиболее ощутимого эффекта объемности звучания и, в частности, об использовании двух сложенных вместе громкоговорителях в качестве выносного верхнечастотного громкоговорителя. На рис. 36 приводится схема низкочастотного тракта приемника, в котором использован этот комбинированный верхнечастотный громкоговоритель. Как видно

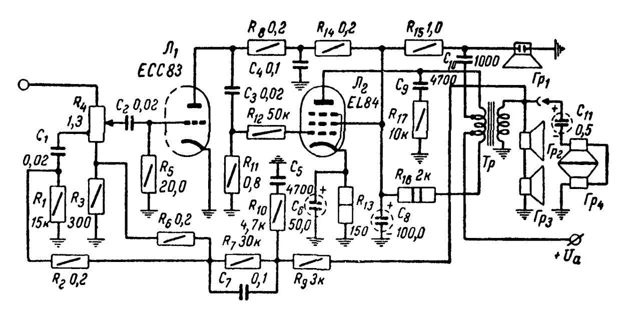


Рис. 36. Схема усилителя низкой частоты, в котором в качестве выносного использован сдвоенный верхнечастотный громкоговоритель.

из схемы, низкочастотный тракт содержит две лампы и охвачен глубокой отрицательной обратной связью, напряжение которой снимается со вторичной обмотки выходного трансформатора и подается в цепь управляющей сетки лампы $Л_1$. С помощью этой обратной связи и RC ячейки, подключенной к регулятору громкости, создается подъем на нижних и верхних частотах звукового диапазона. Регуляторы тембра (на схеме не показаны) включены на входе усилителя так, что могут только ослаблять усиление на соответствующих частотах.

Акустическая система приемника, работающая совместно с этим низкочастотным трактом, состоит из четырех громкоговорителей, три из которых установлены на лицевой панели футляра (два одинаковых широкополосных громкоговорителя $Гр_2$ и $Гр_3$, а между ними верхнечастотный громкоговоритель $Гр_1$). Выносной громкоговоритель $Гр_4$ предназначен для воспроизведения средних и верхних частот звукового диапазона и подключается ко вторичной обмотке выходного трансформатора через специальное для него гнездо.

УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С ДВУХТАКТНЫМ ВЫХОДНЫМ КАСКАДОМ

Чтобы снизить нелинейные искажения и тем самым повысить качество звучания в некоторых высококачественных приемниках, используется двухтактная схема оконечного каскада.

На рис. 37 приведена схема усилителя низкой частоты отечественной радиолы первого класса «Дружба».

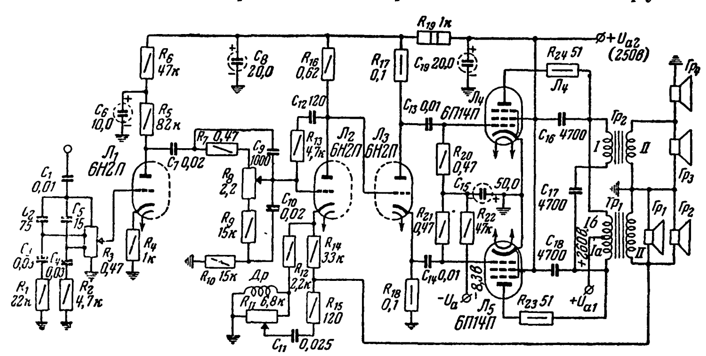


Рис. 37. Схема низкочастотного тракта с двухтактным выходным каскадом унифицированных отечественных приемников с акустической системой объемного звучания.

В акустической системе объемного звучания этой радиолы применены четыре овальных электродинамических громкоговорителя. Основные громкоговорители $Гр_1$ и $Гр_2$ типа 5ГД-14 (установлены на отражательной доске) питаются от вторичной обмотки выходного трансформатора $Тр_1$, первичная обмотка которого непосредственно соединена с анодами оконечных ламп. В качестве дополнительных громкоговорителей верхних частот (расположены на боковых стенках футляра) использованы громкоговорители $Гр_3$ и $Гр_4$ типа 1ГД-9. Они питаются от своего выходного трансформатора $Тр_2$, который соединен с анодами оконечных ламп через конденсатор небольшой емкости C_{17}.

Трансформатор $Тр_1$ может быть собран на сердечнике из пластин УШ-19 при толщине пакета 28 *мм*. Обмотка *I* состоит из 1 140+1 140 витков провода ПЭЛ 0,15, а обмотка *II* — из 70+70 витков ПЭЛ 0,38. Трансформатор $Тр_2$ собран из пластин УШ-9 при толщине пакета

12 *мм*. Обмотка *I* состоит из 2 000 витков провода ПЭЛ 0,12, а обмотка *II* — из 35 витков ПЭЛ 0,51. Дроссель *Др* индуктивностью 40 *мгн* намотан на каркасе диаметром 8 *мм* и содержит 2 900 витков провода ПЭЛ 0,12 (сопротивление обмотки постоянному току 165±15 *ом*).

Представляет интерес и схема двухтактного оконечного каскада с одним выходным трансформатором, при-

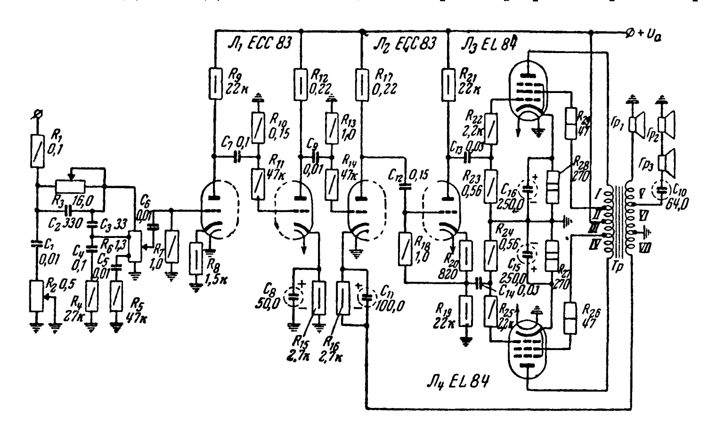


Рис. 38. Схема усилителя с двухтактным выходным каскадом, в котором оконечный каскад собран по ультралинейной схеме.

веденная на рис. 38. Интересная особенность этого усилителя — применение в оконечном каскаде так называемой «ультралинейной» схемы. Напряжение на экранирующие сетки оконечных ламп подается здесь через отводы первичной обмотки выходного трансформатора. Подобное включение эквивалентно введению в оконечный каскад отрицательной обратной связи, что резко снижает нелинейные искажения. Правильным подбором отвода от первичной обмотки выходного трансформатора можно добиться значительного снижения коэффициента нелинейных искажений при небольшом уменьшении выходной мощности. Обычно отвод к экранирующей сетке делают от 25—45% числа витков первичной обмотки, считая от вывода, соединенного с выпрямителем.

Особенностью другого усилителя низкой частоты с двухтактным оконечным каскадом и одним выходным трансформатором (рис. 39) является отсутствие в нем фазоинверсного каскада. Здесь обе оконечные лампы

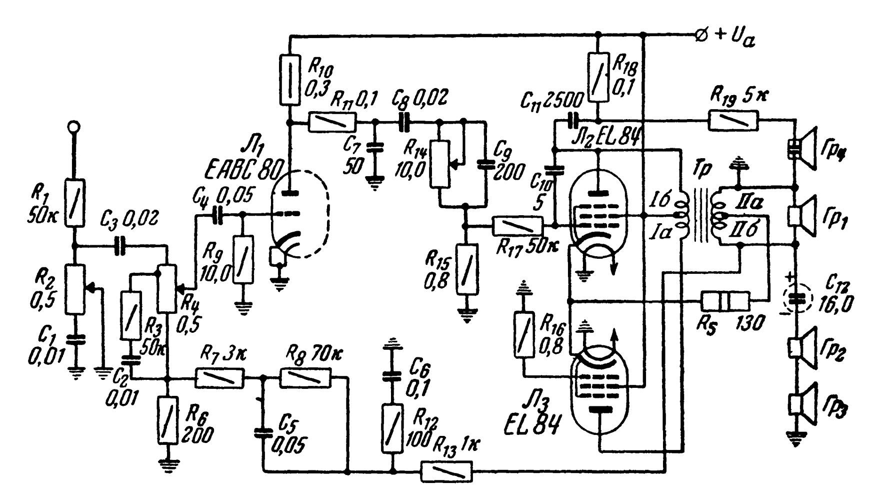


Рис. 39. Схема низкочастотного тракта с двухтактным выходным каскадом и без фазоинвертора.

$Л_2$ и $Л_3$ имеют общее катодное сопротивление R_5, один конец которого соединен с катодами ламп, а другой — со средней точкой вторичной обмотки выходного трансформатора. Управляющая сетка лампы $Л_3$ соединена с шасси через сопротивление R_{16}. Таким образом, лампа $Л_3$ включена по схеме с заземленной сеткой.

Оконечный каскад этого усилителя работает следующим образом. Напряжение возбуждения, усиленное лампой $Л_1$, подается на сетку лампы $Л_2$. Связь между оконечными лампами осуществляется через общее сопротивление R_5. Благодаря этому потенциал катодов обеих ламп изменяется пропорционально изменению напряжения на сетке лампы $Л_2$, вызываемому приходящим сигналом. Но управляющая сетка лампы $Л_3$ заземлена и ее потенциал не изменяется. Вследствие этого между сеткой и катодом этой лампы действует переменное напряжение сигнала, близкое по амплитуде к напряжению сигнала, приложенному между сеткой и катодом лампы $Л_2$. Например, если в какой-то момент времени потенциал управляющей сетки лампы $Л_2$ и катодов обеих ламп будет относительно шасси положительным, то потенциал управляющей сетки лампы $Л_3$ относительно ее катода будет отрицательным. Таким образом, переменные напряжения на управляющих сетках оконечных ламп $Л_2$ и $Л_3$ относительно их катодов будут противоположны по фазе, что и требуется для нормальной работы двухтактного оконечного каскада.

Следует отметить, что из-за включения лампы $Л_3$ по схеме с заземленной сеткой и соединения ее управляющей сетки с общим минусом через большое сопротивление R_{16} на работу схемы заметно влияет емкость анод—сетка лампы $Л_3$, вызывающая отрицательную обратную связь. Для выравнивания несимметрии, которая при этом может возникнуть в оконечном каскаде, между сеткой и анодом лампы $Л_2$ включен конденсатор C_{10}, емкость которого подбирается в зависимости от типа ламп.

По аналогичной схеме построен и низкочастотный тракт отечественного приемника «Фестиваль» (рис. 40). Однако в этой схеме имеется и ряд отличий, направленных на улучшение электрических параметров усилителя. Здесь прежде всего следует отметить включение оконечного каскада по сверхлинейной схеме, что позволило

значительно уменьшить нелинейные искажения. Кроме этого, управляющая сетка лампы $Л_4$ заземлена непосредственно, а не через сопротивление, как это было в предыдущей схеме. В анодную цепь этой же лампы включен фильтр $R_{18}C_{13}$, предназначенный для выравнивания частотной характеристики усилителя, а также для

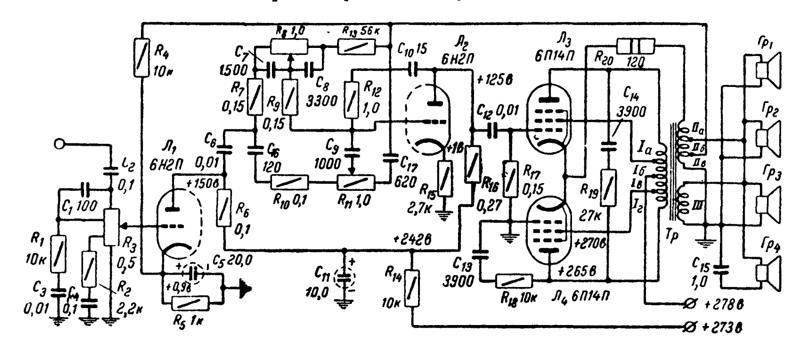


Рис. 40. Схема низкочастотной части приемника „Фестиваль“.

предохранения оконечного каскада от самовозбуждения. Еще один фильтр $R_{19}C_{14}$ включен между анодами оконечных ламп. Следует отметить и отличное от предыдущей схемы включение катодного сопротивления оконечных ламп R_{20}, которое подключено не к среднему выводу от вторичной обмотки выходного трансформатора, а к специальной обмотке *IIa*, соединенной последовательно со вторичной обмоткой трансформатора.

Интересна здесь и схема регулирования тембра. Регуляторы тембра нижних (R_8) и верхних (R_{11}) звуковых частот в ней включены в цепь отрицательной обратной связи, напряжение которой снимается со вторичной обмотки выходного трансформатора и подается на управляющую сетку лампы $Л_2$, усиливающей напряжение звуковой частоты. Такая схема регулирования тембра дает возможность изменять усиление на соответствующих частотах в широких пределах (порядка 15—20 *дб*).

Выходной трансформатор *Тр* этого усилителя собран на сердечнике из пластин Ш-20 при толщине пакета 30 *мм*. Обмотки *Iа* и *Iг* содержат по 1 000, а обмотки *Iб* и *Iв* — по 250 витков провода ПЭЛ 0,14. Обмотка *IIа* состоит из 30 витков, *IIб* — из 15 витков, *IIв* — из 35 витков и *III* — из 50 витков провода ПЭЛ 0,47.

Оконечный каскад без фазоинвертора может быть собран и по схеме, приведенной на рис. 41. В этой схеме, как и в двух предыдущих, одна из ламп ($Л_1$) включена по схеме с заземленным катодом, а другая ($Л_2$) — по схеме с заземленной управляющей сеткой, но общее для обеих ламп сопротивление заземлено здесь непосредственно.

Следует отметить, что приведенная на рис. 41 величина сопротивления R_4, с помощью которого создается отрицательное напряжение смещения, указана для ламп с повышенной крутизной характеристики (6П14П, EL84). При использовании ламп с меньшей крутизной характеристики (порядка 5—6 *ма/в*) величина этого сопротивления должна быть повышена до 200—250 *ом*. Кроме того, для приведенной на рис. 41 схемы требуется источник анодного питания с повышенным напряжением (порядка 300—350 *в*), так как за счет протекания через сопротивление R_1 постоянных составляющих токов обеих оконечных ламп на нем падает значительная часть напряжения.

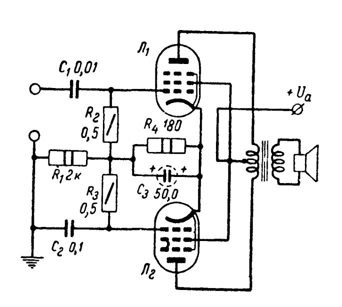


Рис. 41. Схема двухтактного оконечного каскада без фазоинвертора.

Интересной для радиолюбителей может быть и схема усилителя низкой частоты, приведенная на рис. 42. Здесь для некоторого снижения интермодуляционных искажений разделение полосы воспроизводимых приемником частот на каналы производится в анодной цепи оконечных ламп. Между их анодами включены два выходных трансформатора ($Тр_1$ и $Тр_2$), первичные и вторичные обмотки которых соединены последовательно. В отличие от предыдущих схем (например, на рис. 37) при таком включении выходных трансформаторов полностью сохраняются преимущества двухтактного оконечного каскада для обеих групп громкоговорителей.

Выходной трансформатор $Тр_1$ предназначен для питания громкоговорителей нижних частот $Гр_1$ и $Гр_2$. Чтобы не пропускать к ним частоты, превышающие граничную, его первичная обмотка блокирована конден-

саторами C_{21} и C_{22}. Индуктивность первичной обмотки выходного трансформатора, к которому подключены громкоговорители верхних частот $Гр_3$, $Гр_4$ и $Гр_5$, сделана небольшой, вследствие чего он нижних частот не пропускает.

Благодаря последовательному соединению вторичных обмоток выходных трансформаторов снимаемое с них напряжение отрицательной обратной связи значительно

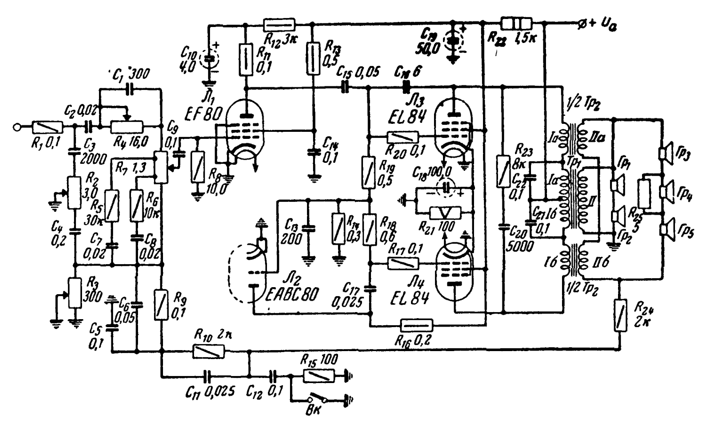


Рис. 42. Схема усилителя с двухтактным оконечным каскадом, в котором два выходных трансформатора включены последовательно.

выше, чем при обычной схеме включения выходных трансформаторов. Цепь отрицательной обратной связи охватывает низкочастотный тракт приемника и является частотно-зависимой. Сопротивления R_{10}, R_{24} и конденсатор C_5 способствуют подъему верхних звуковых частот, а сложная цепь, включающая в себя конденсатор C_6, сопротивления R_9, R_3 и RC-цепочки регулятора громкости, — увеличению усиления на нижних частотах. Дополнительно включенная цепочка $R_{15}C_{12}$ при разомкнутом выключателе *Вк* обеспечивает подъем частотной характеристики на частоте 5000 *гц*, выравнивая тем самым частотную характеристику громкоговорителей. При замыкании выключателя *Вк* происходит завал частотной характеристики усилителя на частотах выше 7000—8000 *гц*, что необходимо при приеме радиостанций с амплитудной модуляцией и проигрывании граммофонных пластинок. Конденсатор C_{11} ослабляет частоты

выше 13 000—15 000 *гц* и этим заметно снижает уровень шумов, особенно находящихся за пределами порога слышимости.

Другой особенностью схемы усилителя низкой частоты, приведенной на рис. 42, является введение дополнительного регулятора R_3, включенного в цепь отрицательной обратной связи и названного «регулятором объемного звучания». При изменении величины R_3 изменяется и действие частотно-зависимой отрицательной обратной связи. Влияние этого регулятора проявляется в основном на верхних частотах; при изменении его величины ослабляется или усиливается уровень этих частот по отношению к уровню средних частот. А так как степень проявления объемности звучания приемника зависит от воспроизведения верхних частот, то изменением положения движка переменного сопротивления R_3 можно регулировать и объемность звучания. Помимо этого, на входе усилителя установлены регуляторы тембра нижних (R_4) и верхних (R_2) частот, что позволяет наиболее полно удовлетворить условию соответствия кривым равной громкости при регулировании уровня воспроизведения.

ДВУХКАНАЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Еще лучшие результаты можно получить от усилителя, если разделение полосы частот, воспроизводимой приемником, сделать не на выходе низкочастотного тракта, а после каскада предварительного усиления. В этом случае усилитель низкой частоты будет иметь несколько каналов, каждый из которых будет усиливать определенную полосу частот. Обычно в радиовещательных приемниках полосу частот разделяют на два канала; такие усилители низкой частоты получили название двухканальных.

Основное преимущество двухканальных усилителей по сравнению с одноканальными — минимальные интермодуляционные искажения. Помимо этого, имея раздельные оконечные каскады для нижних и верхних частот, удается добиться лучшего согласования акустической системы с электрическим трактом путем введения в каждый канал своей частотно-зависимой отрицательной обратной связи и использования раздельных

выходных трансформаторов, рассчитанных на пропускание соответствующей полосы частот. Следует отметить и то обстоятельство, что в двухканальных усилителях применяются почти исключительно электродинамические громкоговорители.

Одна из простых схем двухканального усилителя низкой частоты приведена на рис. 43. Здесь первые два каскада, работающие на двойном триоде $Л_1Л_2$, усили-

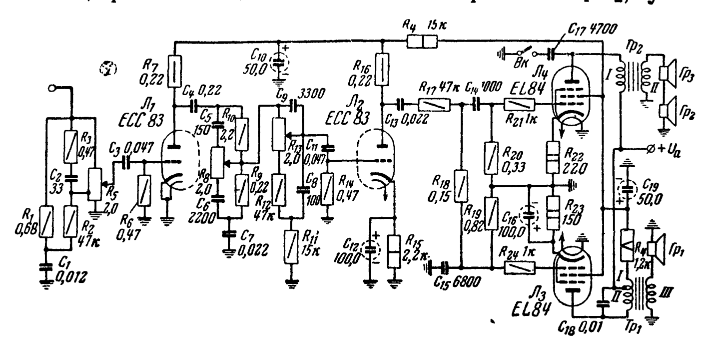


Рис. 43. Схема простого двухканального усилителя с однотактными выходными каскадами и без отрицательной обратной связи.

вают весь диапазон звуковых частот. Между первым и вторым каскадами предварительного усиления помещены регуляторы тембра нижних (R_{13}) и верхних (R_8) частот. Сопротивлениями R_9, R_{10} и конденсатором C_7 устанавливаются уровень средних и максимальный подъем нижних частот. После регулятора верхних частот звуковое напряжение попадает на делитель напряжения R_9R_{10}, а с него — на регулятор нижних частот.

Разделение спектра звуковых частот на каналы производится после второго каскада усиления низкой частоты. Верхние звуковые частоты проходят через фильтр $R_{20}C_{14}$ на управляющую сетку одной из оконечных ламп ($Л_4$), в анодную цепь которой включен выходной трансформатор $Тр_2$, питающий громкоговорители верхних частот $Гр_2$ и $Гр_3$. Нижние звуковые частоты выделяются фильтром $R_{18}C_{15}$ и подводятся к управляющей сетке второй оконечной лампы ($Л_3$). В ее анодную цепь включен другой выходной трансформатор ($Тр_1$), ко вторичной обмотке которого подключен громкоговоритель нижних частот $Гр_1$.

Разделение полосы частот на каналы производится на частоте 800 *гц*. Эта частота выбрана в качестве граничной потому, что при ней интермодуляционные искажения получаются минимальными. Элементы оконечных каскадов подобраны так, чтобы звуковые частоты, выходящие за границу канала, резко ослаблялись. Это также

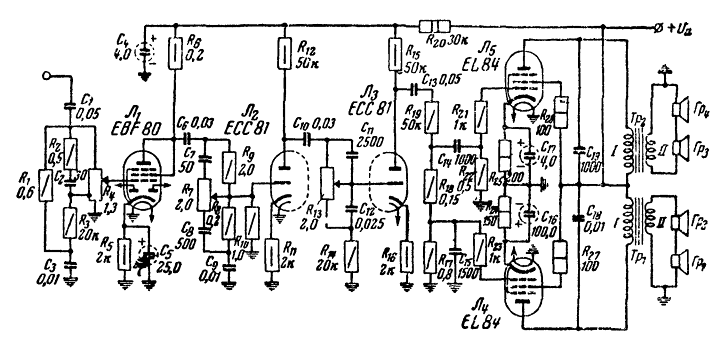


Рис. 44. Схема двухканального усилителя с однотактными выходными каскадами и регуляторами тембра, включенными в цепи усиления сигнала.

снижает как интермодуляционные, так и нелинейные искажения.

При приеме радиостанций, работающих с амплитудной модуляцией, и проигрывании граммофонных пластинок в анодную цепь оконечной лампы канала верхних звуковых частот включается конденсатор C_{17}, сужающий диапазон воспроизводимых частот до 5 000—6 000 *гц*.

Для хорошей фильтрации анодного напряжения в фильтре выпрямителя применены электролитические конденсаторы сравнительно большой емкости (по 50 *мкф*), а напряжение анодного питания лампы предварительного усиления низкой частоты фильтруется трижды.

Схема другого усилителя, собранного по двухканальной схеме, приведена на рис. 44. Усилитель содержит три каскада предварительного усиления низкой частоты, причем последние два, работающие на двойном триоде $Л_2Л_3$, охвачены отрицательной обратной связью по току.

Регулятор тембра верхних частот R_7 помещен между первым и вторым каскадами предварительного усиле-

ния низкой частоты, а регулятор тембра нижних частот R_{13} — между вторым и третьим каскадами. Разделение полосы частот на каналы производится после третьего каскада. Нижние частоты проходят через фильтр $R_{17}R_{18}C_{15}$ на управляющую сетку лампы $Л_4$, питающую громкоговорители нижних частот $Гр_1$ и $Гр_2$. Верхние частоты подводятся к управляющей сетке лампы $Л_5$ через фильтр $R_{22}C_{14}$. В анодной цепи этой лампы включе-

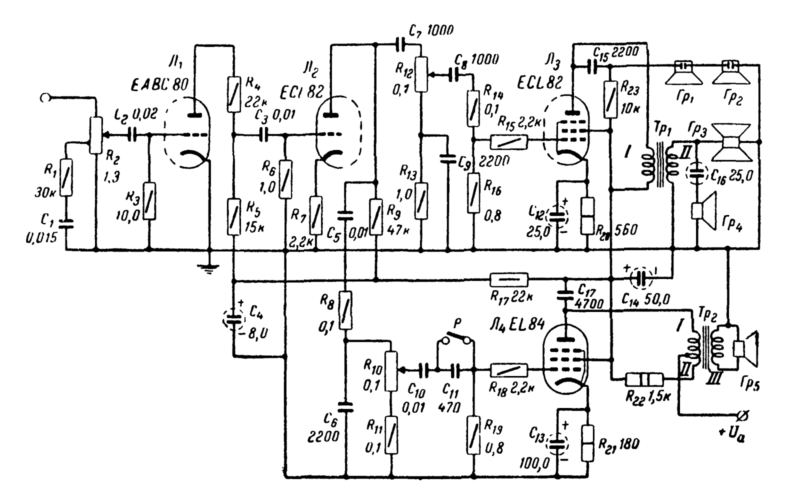


Рис. 45. Схема двухканального усилителя низкой частоты, в котором использован звуковой компрессор.

ны громкоговорители верхних частот $Гр_3$ и $Гр_4$. Оба оконечных каскада охвачены отрицательной обратной связью, получающейся благодаря отсутствию конденсаторов в цепях экранирующих сеток ламп $Л_4$ и $Л_5$. Помимо этого, первичная обмотка каждого из выходных трансформаторов заблокирована конденсатором, ограничивающим верхний предел частотной характеристики канала.

Выше было рассказано об устройстве и принципе действия звукового компрессора (см. стр. 13). На рис. 45 приводится схема низкочастотного тракта приемника, в котором он используется.

Усилитель низкой частоты построен по двухканальной схеме. Первые два каскада усиливают весь спектр

звуковых частот. Разделение на каналы производится после второго каскада. Верхние звуковые частоты выделяются фильтром $R_{12}R_{13}C_7C_9$ и через разделительный конденсатор C_8 подводятся к управляющей сетке оконечной лампы канала верхних частот $Л_3$. В анодную цепь этой лампы включена первичная обмотка выходного трансформатора $Тр_1$, ко вторичной обмотке которого подключены звуковой компрессор $Гр_3$ и громкоговоритель верхних частот $Гр_4$. Кроме того, к аноду лампы $Л_3$ подключены через разделительный конденсатор C_{15} два электростатических громкоговорителя $Гр_1$ и $Гр_2$, воспроизводящие средние и верхние частоты звукового диапазона.

Нижние звуковые частоты выделяются фильтром $R_8R_{10}R_{11}C_5C_6$ и через разделительный конденсатор C_{10} подаются на управляющую сетку оконечной лампы канала нижних звуковых частот $Л_4$. Нижнечастотный громкоговоритель $Гр_5$ подключен ко вторичной обмотке выходного трансформатора $Тр_2$.

Регуляторы тембра нижних (R_{10}) и верхних (R_{12}) частот включены на входе каждого канала и работают как регуляторы усиления на соответствующих частотах. Помимо этого, в канал нижних частот введен переключатель P («Музыка» — «Речь»). При размыкании контактов этого переключателя в цепь управляющей сетки лампы $Л_4$ включается дополнительный конденсатор C_{11}, общая емкость разделительных конденсаторов становится значительно меньше емкости конденсатора C_{10} и усиление нижних частот значительно ослабляется, благодаря чему устраняется приглушенное звучание при речевых передачах.

Приведенные схемы двухканальных усилителей низкой частоты хотя и значительно превосходят по своим электроакустическим параметрам одноканальные, все же коэффициент нелинейных искажений на нижних частотах в них соизмерим с искажениями в одноканальных усилителях. Значительно снизить нелинейные искажения на нижних частотах можно лишь в том случае, если этот канал выполнить по двухтактной схеме.

Одна из таких схем двухканального усилителя приведена на рис. 46. В этой схеме первые два предварительных каскада усиливают весь спектр звуковых частот. Разделение на каналы производится после второго

каскада. Нижние частоты через сложный *RC*-фильтр подводятся к фазоинверсному каскаду на лампе $Л_3$.

Оконечный каскад этого канала собран на двух лампах ($Л_4$ и $Л_5$) и охвачен отрицательной обратной связью, получающейся благодаря отсутствию блокировочных конденсаторов в цепях экранирующих сеток оконечных ламп. Регулятор тембра нижних частот ($R_{11}R_{14}$) помещен на входе канала и одновременно на-

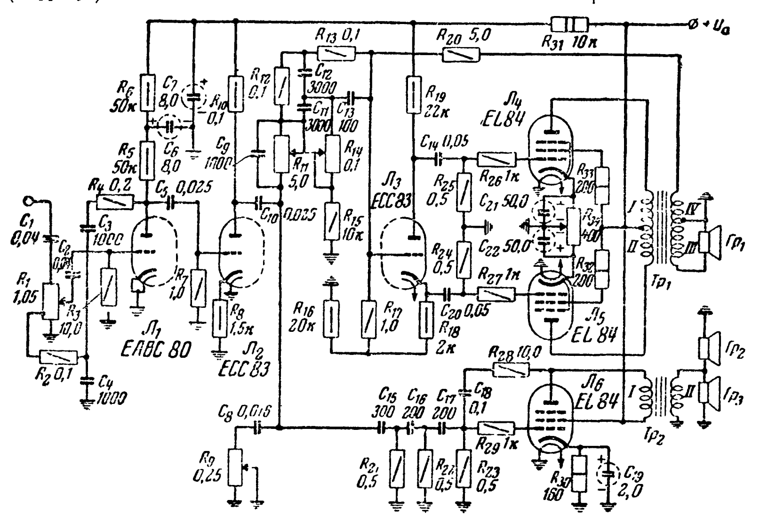


Рис. 46. Схема двухканального усилителя с двухтактным выходным каскадом канала нижних частот.

ходится в цепи отрицательной обратной связи, охватывающей весь канал (она подается со специальной обмотки *IV* выходного трансформатора $Тр_1$ и подводится через сопротивление R_{20}). Балансировка оконечного двухтактного каскада осуществляется потенциометром R_{34}.

В канале верхних частот работает лишь одна оконечная лампа $Л_6$. Напряжение возбуждения подается на ее управляющую сетку через *RC*-фильтр, состоящий из сопротивлений R_{21}, R_{22} и R_{23} и конденсаторов C_{15}, C_{16} и C_{17}. Регулятор тембра верхних частот R_9 также включен на входе канала и может только ослаблять усиление этих частот. Подъем их получается благодаря отрицательной обратной связи, напряжение которой снимает-

ся с анода оконечной лампы $Л_6$ и через сопротивление R_{28} и конденсатор C_{18} подводится к управляющей сетке этой же лампы.

Следует отметить и интересную схему тонкомпенсации при регулировании громкости. Здесь, помимо обычного фильтра R_2C_4, подключаемого к отводу от регуля-

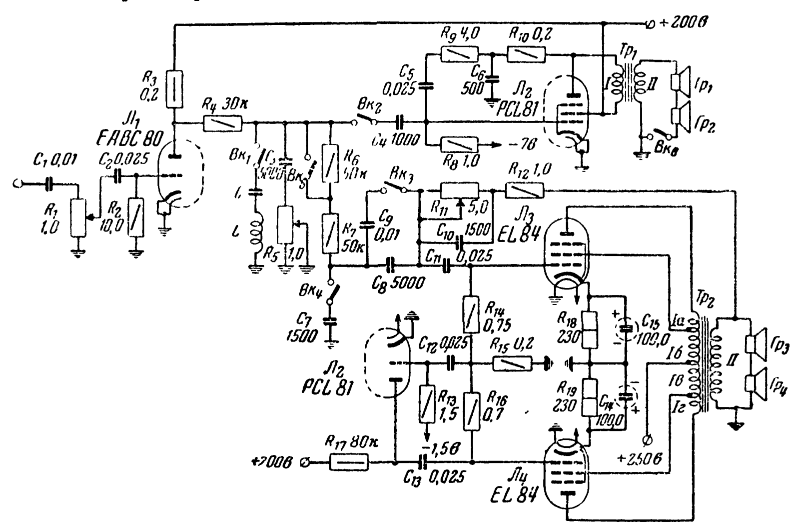


Рис. 47. Схема простого двухканального усилителя с двухтактным выходным каскадом канала нижних частот и выключателем объемного звучания.

тора громкости, введена отрицательная обратная связь, охватывающая первый каскад усилителя. Эта обратная связь создается путем подачи напряжения из анодной цепи лампы $Л_1$ через сопротивление R_4 и конденсатор C_3 и далее через сопротивление R_2, регулятор громкости R_1 и конденсатор C_2 на управляющую сетку этой же лампы. Элементы схемы подобраны так, что при малых уровнях сигнала, подводимого к управляющей сетке лампы $Л_1$, фильтр R_2C_4 повышает уровень нижних, а отрицательная обратная связь — верхних частот. Такое регулирование громкости наиболее полно обеспечивает соответствие кривым равной громкости при простой конструкции потенциометра.

Образцом тщательного конструирования высококачественного малолампового низкочастотного тракта для

приемника высшего класса может служить схема двухканального усилителя низкой частоты, приведенная на рис. 47. В данном усилителе первый каскад, работающий на триодной части комбинированной лампы $Л_1$, усиливает весь спектр звуковых частот. Разделение на каналы происходит на выходе этого каскада.

Канал верхних частот содержит только одну оконечную лампу $Л_2$. На входе этого канала помещен фильтр R_8C_4, задерживающий нижние частоты. Оконечный каскад, в котором использована пентодная часть комбинированной лампы $Л_2$, охвачен отрицательной обратной связью по напряжению, создающей подъем частотной характеристики в области верхних частот. Нижние и средние частоты ответвляются в другой канал благодаря действию фильтра R_7C_7. Этот канал построен по двухтактной ультралинейной схеме с самобалансирующимся фазоинверсным каскадом, работающим на триодной части лампы $Л_2$. Применение двухтактной ультралинейной схемы и отрицательной обратной связи по напряжению, охватывающей весь канал, обеспечивает минимальные нелинейные искажения и тем резко повышает качество звучания приемника.

Регулятор тембра нижних частот R_{11} помещен в цепи отрицательной обратной связи канала нижних частот. Он позволяет как ослабить, так и увеличить усиление на этих частотах по отношению к усилению на средних частотах.

Отличительной особенностью этого усилителя является наличие клавиши объемного звучания. При ее включении контакты $Вк_2$, $Вк_4$ и $Вк_6$ замыкаются и низкочастотный тракт работает как двухканальный усилитель. Однако при прослушивании речевых передач объемность в звучании оказывается вредной. Объясняется это тем, что при передаче речи источник звука имеет определенное направление. Поэтому, чтобы не исказить звучания во время речевых передач, весь канал верхних звуковых частот, а следовательно, и громкоговорители, создающие эффект объемности, отключаются. При этом одновременно замыкаются контакты $Вк_5$, что приводит к увеличению напряжения на входе канала нижних и средних частот.

Кроме этого, включением клавиши $Вк_3$ («Речь») можно ослабить и усиление на нижних частотах.

В месте разветвления каналов установлены регулятор тембра верхних частот R_5 и LC-фильтр, настроенный на частоту 9 000 *гц*. Он включается клавишей $Вк_1$ при приеме радиостанций, работающих с амплитудной модуляцией, и проигрывании граммофонных пластинок. Такое положение в схеме регулятора тембра и LC-фильтра позволяет пользоваться ими и при отключенном канале верхних частот.

Все это позволило создать в приемнике низкочастотный тракт, действительно обеспечивающий высококачественное воспроизведение разнообразных программ.

Следует отметить, что в дальнейшем в двухканальных усилителях стали применять более сложные схемы разделения полосы частот на каналы. Это позволило упростить регуляторы тембра, роль которых стали выполнять регуляторы усиления соответствующих каналов. Такой весьма простой способ регулирования тембра, осуществимый только в двухканальных усилителях низкой частоты, обеспечивает изменение частотной характеристики усилителя в широких пределах.

На рис. 48 показана схема двухканального усилителя с регуляторами тембра, включенными как регуляторы усиления соответствующих каналов. Первый каскад, работающий на одном из триодов лампы $Л_1$, усиливает весь спектр звуковых частот. Разделение на каналы происходит после первого каскада. Верхние частоты через конденсаторы C_3 и C_7 поступают на регулятор тембра верхних частот R_{14}. Отсюда они подводятся к оконечной лампе $Л_3$, усиливаются ею и воспроизводятся громкоговорителями $Гр_3$ и $Гр_4$. В цепь управляющей сетки оконечной лампы данного канала включен сложный RC-фильтр верхних частот, состоящий из сопротивлений R_{14}, R_{18}, R_{15} и R_{16} и конденсаторов C_7, C_8 и C_9.

Канал нижних частот имеет двухтактный оконечный каскад. В фазоинверсном каскаде работает второй триод лампы $Л_2$. Нижние частоты с потенциометра R_9, регулирующего усиление этого канала, поступают на сетку лампы $Л_2$ через RC-фильтр нижних частот R_6C_4.

Интересной особенностью этого усилителя является то, что каждый каскад в нем имеет свою отрицательную обратную связь. В оконечных каскадах отрицательная обратная связь создается благодаря включению в цепи экранирующих сеток оконечных ламп $Л_3$, $Л_4$ и $Л_5$ сопро-

тивлений, а в предварительном и фазоинверсном — благодаря отсутствию конденсаторов, блокирующих сопротивления смещения.

Сопротивления R_8 и R_{18}, включенные последовательно с потенциометрами регуляторов тембра, нужны для

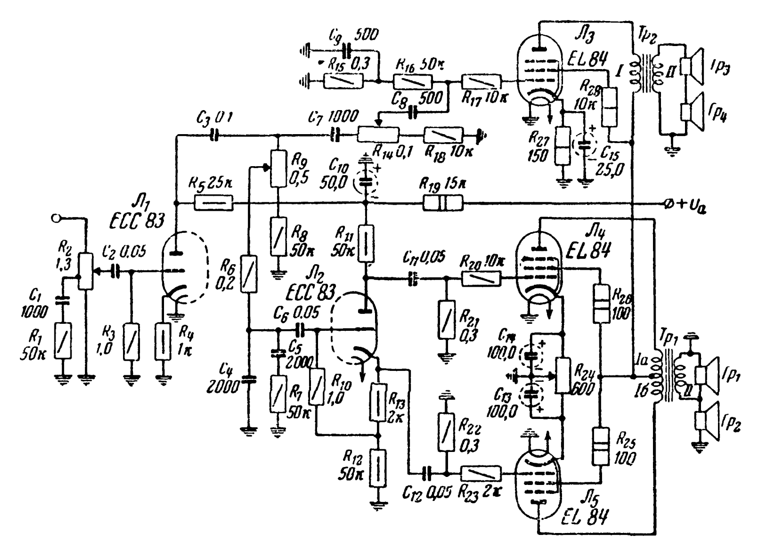


Рис. 48. Схема двухканального усилителя с двухтактным оконечным каскадом канала нижних частот и регуляторами тембра, включенными как регуляторы усиления соответствующих каналов.

того, чтобы не получилось полного ослабления соответствующих частот звукового диапазона. Подбором величин этих сопротивлений можно изменять пределы регулирования тембра и тем самым корректировать характеристику каждого канала.

УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С ОКОНЕЧНЫМ КАСКАДОМ БЕЗ ВЫХОДНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Появление усилителей без выходного трансформатора было вызвано стремлением конструкторов улучшить электрические характеристики усилителя, а вместе с тем еще более повысить качество воспроизведения. Немало способствовало этому создание специальных высокоомных громкоговорителей и радиоламп с низким внутрен-

ним сопротивлением, способных работать при сравнительно небольших напряжениях источника питания анодных цепей (порядка 150—180 *в*).

Как же работает оконечный каскад без выходного трансформатора?

В двухтактном усилителе с выходным трансформатором сопротивление нагрузки $R_н$, пересчитанное в анодную цепь ламп, состоит из двух частей, соединенных по-

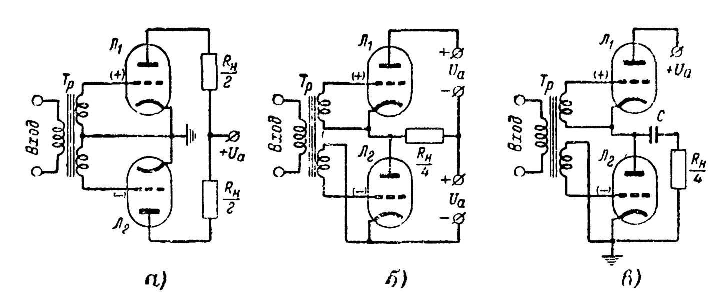


Рис. 49. Упрощенные схемы двухтактного оконечного каскада.
а — обычная схема; *б* и *в* — схемы с последовательным включением ламп (по постоянному току).

следовательно (рис. 49,*а*). В таком усилителе выходной трансформатор вследствие нелинейности кривой намагничивания стального сердечника является дополнительным источником нелинейных искажений. Вместе с тем выходной трансформатор является реактивным элементом схемы, не позволяющим осуществить глубокую отрицательную обратную связь из-за возможности появления значительного сдвига угла фаз и возникновения при этом самовозбуждения. Все это не позволяет получить от обычного двухтактного оконечного каскада действительно высококачественного воспроизведения с минимальными нелинейными искажениями.

Чтобы избавиться от выходного трансформатора, можно было бы изготовить громкоговоритель с высокоомной звуковой катушкой, но при использовании обычной схемы такая катушка должна иметь отвод от половины обмотки, что неудобно. Кроме того, при непосредственном включении звуковой катушки в анодные цепи оконечных ламп через нее будет проходить постоянная составляющая источника анодного питания. Звуковая

катушка будет демпфироваться, а это приведет к уменьшению громкости воспроизведения.

В результате многочисленных экспериментов была предложена схема оконечного каскада, в которой обе лампы включены параллельно по переменному току (рис. 49,*б*). Нагрузка $R_н$ в такой схеме не имеет отвода от середины и ее приведенное сопротивление уменьшилось в четыре раза. Однако при этом потребовалось два источника анодного питания ламп. В результате дальнейшей работы со схемой был найден вариант (рис. 49,*в*), при котором устранялся и этот недостаток.

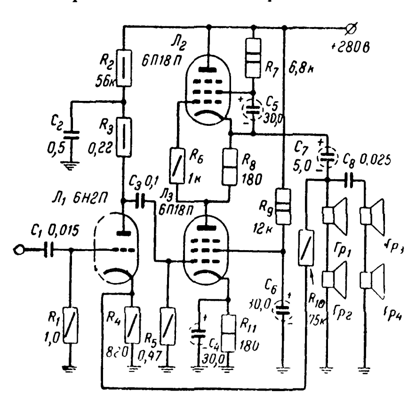


Рис. 50. Схема оконечного каскада без выходного трансформатора.

Практическая схема оконечного каскада без выходного трансформатора показана на рис. 50. Напряжение низкой частоты подводится здесь к управляющей сетке лампы $Л_3$, усиливается ею, выделяется на нагрузочном сопротивлении R_8 и с него через сопротивление утечки сетки R_6 подается к управляющей сетке лампы $Л_2$. Сопротивление R_8 выполняет еще и роль катодного сопротивления лампы $Л_2$, создающего для этой лампы отрицательное напряжение смещения. Нагрузка каскада (громкоговорители) подключена к катоду лампы $Л_2$ через разделительный конденсатор большой емкости C_7.

Каскад предварительного усиления работает на одном из триодов лампы типа 6Н2П, а оконечный каскад — на лампах типа 6П18П. При выходной мощности 2 *ва* коэффициент нелинейных искажений не превышает 1,5%. Достигается это введением глубокой (порядка 20 *дб*) отрицательной обратной связи, напряжение которой снимается с нагрузки усилителя и подается в цепь катода лампы $Л_1$ через сопротивление R_{10}.

В качестве нагрузки усилителя использованы четыре высокоомных электродинамических громкоговорителя.

Два из них ($Гр_1$ и $Гр_2$) низкочастотные типа 2ГД-6, а два ($Гр_3$ и $Гр_4$) высокочастотные типа 1ГД-17. С такой акустической системой можно получить высококачественное воспроизведение различных программ и эффект объемности звучания.

Исключение из схемы выходного трансформатора приводит не только к снижению нелинейных искажений, но еще и способствует расширению полосы воспроизводимых усилителем звуковых частот. В схеме без выходного трансформатора воспроизведение нижних частот усилителем ограничивается лишь емкостями переходных конденсаторов, а верхних частот — диапазоном звучания громкоговорителя и паразитными емкостями монтажа. Кроме того, при использовании такой схемы оконечного каскада частотная характеристика усилителя по звуковому давлению заметно выравнивается в области нижних частот звукового диапазона. Объясняется это демпфированием громкоговорителя низким внутренним сопротивлением оконечного каскада, благодаря чему сглаживается резонанс громкоговорителя.

К недостаткам оконечного каскада без выходного трансформатора, схема которого приведена на рис. 50, следует отнести несколько больший, чем это может быть получено в такой схеме, коэффициент нелинейных искажений. Происходит это потому, что низкочастотное напряжение подается на лампу $Л_2$ из анодной цепи лампы $Л_3$, которая сама может вносить до 2—3% искажений, так как здесь не происходит характерной для двухтактной схемы компенсации четных гармоник. Помимо этого, такой каскад может работать только в режиме класса А.

Избавиться от указанного недостатка можно, если питать лампу $Л_2$ отдельно от специального фазоинвертора. Схема такого улучшенного оконечного каскада без выходного трансформатора приведена на рис. 51. Введение фазоинвертора, работающего на правом (по схеме) триоде лампы $Л_1$ и собранного по схеме с разделенной нагрузкой, позволяет значительно повысить выходную мощность оконечного каскада, а введение глубокой отрицательной обратной связи (порядка 30 *дб*) — значительно снизить нелинейные искажения. Такой оконечный каскад отдает в нагрузку до 6 *ва* выходной мощности при коэффициенте нелинейных искажений не бо-

лее 1%. Нагрузкой могут служить либо два низкочастотных громкоговорителя типа 5ГД-16, либо три верхнечастотных громкоговорителя типа ВГД-2. В последнем случае емкость конденсатора C_{10} желательно уменьшить до 5 *мкф*.

Из особенностей рассмотренной схемы следует отметить питание анодной цепи правого (по схеме) триода лампы $Л_1$. Дело в том, что напряжение низкой частоты

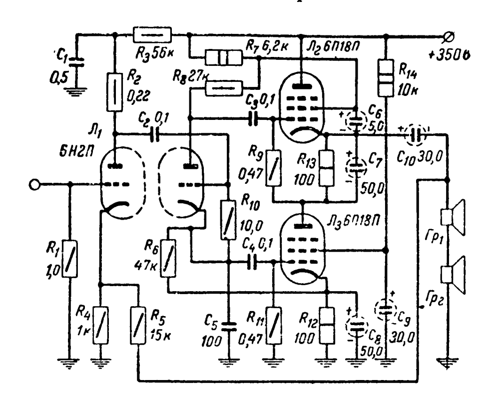


Рис. 51. Схема оконечного каскада без выходного трансформатора со специальным фазоинвертором.

на лампу $Л_2$ не может быть снято со всей анодной нагрузки фазоинвертора, так как тогда оно окажется приложенным не между управляющей сеткой и катодом, а между управляющей сеткой и анодом оконечной лампы. Поэтому в приведенном на рис. 51 оконечном каскаде низкочастотное напряжение на лампу $Л_2$ снимается с сопротивления R_8, включенного между анодом правого триода лампы $Л_1$ и экранирующей сеткой лампы $Л_2$.

Следует отметить также и некоторые трудности питания экранирующей сетки лампы $Л_2$. Для получения пентодного режима экранирующая сетка этой лампы должна быть замкнута по переменному току на катод. При этом гасящее сопротивление, включаемое между плюсом источника анодного питания и экранирующей сеткой лампы, оказывается включенным (по переменному току) параллельно нагрузке каскада и на нем бес-

полезно рассеивается часть выходной мощности. Увеличение же гасящего сопротивления приводит к понижению напряжения на экранирующей сетке и как следствие к уменьшению отдаваемой каскадом выходной мощности. Поэтому приходится искать такую величину гасящего сопротивления, при которой обеспечивались бы достаточно большое напряжение на экранирующей сетке и малые потери выходной мощности.

В каскаде без выходного трансформатора обе оконечные лампы включены последовательно по постоянному току. Поэтому для такого каскада требуется удвоенное напряжение источника анодного питания или же применение специальных оконечных ламп с малым внутренним сопротивлением, способных работать при низких анодных напряжениях (порядка 100—150 *в*). Кроме того, нужны и высокоомные электродинамические громкоговорители.

Из выпускаемых нашей промышленностью радиоламп в оконечном каскаде без выходного трансформатора могут быть использованы пентоды типа 6П18П. При напряжении источника анодного питания порядка 300—350 *в* оконечный каскад с такими лампами может отдать мощность в 6—8 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений около 2—3%.

Практическая схема усилителя низкой частоты с этими лампами приведена на рис. 52. В каскадах предварительного усиления использован двойной триод типа 6Н2П. Оконечный каскад питается от фазоинвертора.

Особенностью этого усилителя является введение положительной и отрицательной обратных связей. Положительная обратная связь охватывает предоконечный каскад. Она осуществляется подачей части напряжения из цепи катода лампы $Л_2$ через сопротивление R_8 в цепь катода лампы $Л_1$. Отрицательная обратная связь охватывает предоконечный и оконечный каскады. Ее напряжение снимается с нагрузки усилителя (громкоговорителей) и подается в цепь катода лампы $Л_1$ через сопротивление R_{13}. В этой схеме, кроме того, между анодной цепью лампы фазоинвертора $Л_2$ и управляющей сеткой оконечной лампы $Л_3$ осуществлена связь по постоянному току. При такой связи величина отрицательного напряжения смещения на управляющей сетке лампы $Л_3$ определяется разностью между напряжением на ее ка-

тоде и напряжением, снимаемым на управляющую сетку с делителя $R_{10}R_{12}$.

Следует отметить и такую особенность этого усилителя, как возможность работы его оконечного каскада не только в режиме класса А, но и в режиме классов АВ или В. Чтобы перевести оконечный каскад усилителя на работу в режиме, близком к классу В, нужно ис-

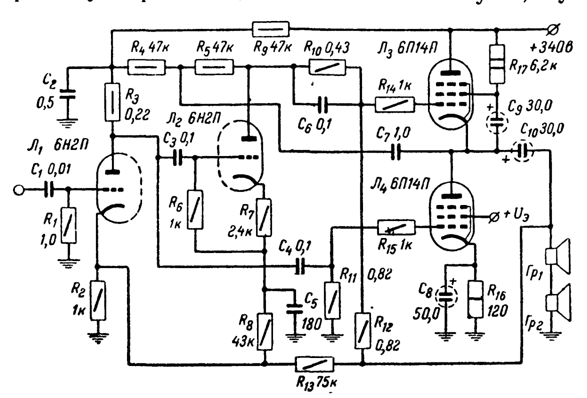


Рис. 52. Схема усилителя низкой частоты с оконечным каскадом без выходного трансформатора.

ключить из схемы сопротивление R_{16} и конденсатор C_8, а сопротивление R_{11} отсоединить от шасси и подвести через него к управляющей сетке лампы $Л_4$ от отдельного источника отрицательное напряжение порядка 15 *в*. Дополнительный выигрыш в выходной мощности составит при этом 10—20%.

Построенный по такой схеме усилитель низкой частоты без выходного трансформатора пропускает полосу частот от 20 до 15 000 *гц*. При выходной мощности 7 *ва* нелинейные искажения не превышают 0,5%.

Выпрямитель для усилителя лучше всего собрать по мостовой схеме на германиевых диодах типа Д7Ж (по два диода в каждом плече). Параллельно каждому диоду следует включить выравнивающее сопротивление в 20 *ком*. От половины витков повышающей обмотки силового трансформатора нужно сделать отвод и через фильтр, состоящий из двух электролитических конденсаторов по 40 *мкф* и сопротивления в 240 *ом*, соединить его с экранирующей сеткой лампы $Л_4$ (напряжение на

экранирующей сетке этой лампы должно быть порядка 150—180 *в*).

В настоящее время за рубежом выпускается ряд моделей приемников различных классов с оконечным каскадом без выходных трансформаторов. Рассмотрим схему низкочастотного тракта одного из таких приемников.

Усилитель низкой частоты этого приемника собран по двухканальной схеме (рис. 53). Разделение полосы

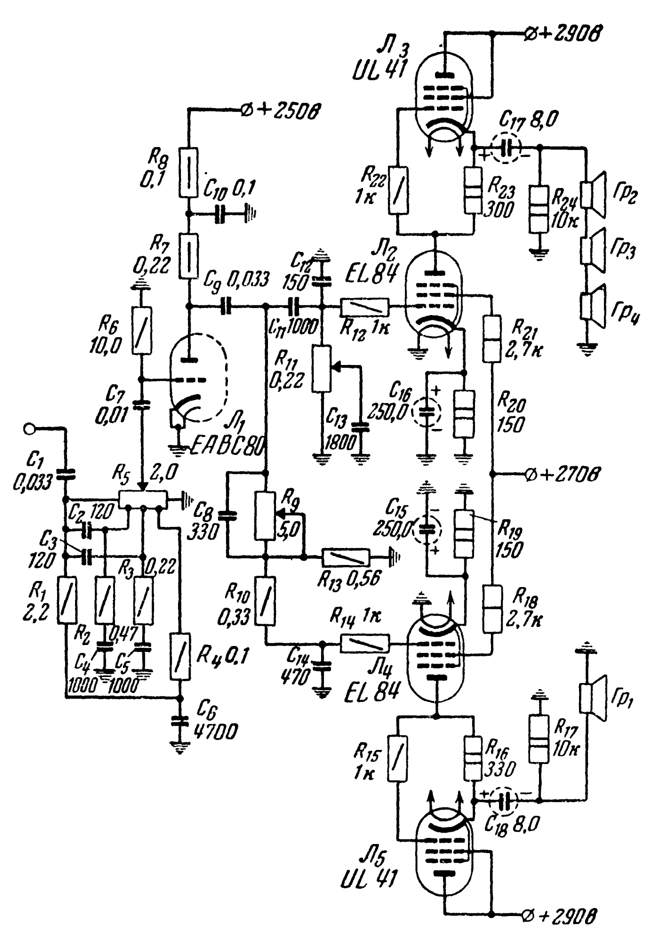


Рис. 53. Схема двухканального усилителя низкой частоты с оконечным каскадом без выходного трансформатора.

частот производится после каскада предварительного усиления, работающего на триодной части лампы $Л_1$.

Верхние частоты, выделенные фильтром $R_{11}C_{11}$, подводятся к оконечному каскаду, работающему на двух лампах. Одна из них ($Л_2$) работает в качестве ведущей, а другая ($Л_3$) является оконечной и включена триодом.

Напряжение низкой частоты подводится к управляющей сетке ведущей лампы и усиливается ею. Часть этого напряжения снимается с сопротивления R_{23} и через сопротивление утечки сетки R_{22} подводится к управляющей сетке оконечной лампы. Сопротивление R_{23} одновременно выполняет роль источника смещения этой лампы.

Обе лампы оконечного каскада включены последовательно (по постоянному току). Следовательно, напряжение источника анодного питания распределится между ними пропорционально сопротивлению этих ламп постоянному току. В данной схеме на долю лампы $Л_2$ приходится 100, а на долю лампы $Л_3$ — 190 *в*.

Громкоговорители верхних частот $Гр_2$, $Гр_3$ и $Гр_4$ подключены к катоду оконечной лампы через разделительный конденсатор C_{17} большой емкости. Таким образом, обе лампы оконечного каскада, включенные по переменному току параллельно, питают громкоговорители верхних частот. При этом режимы их подобраны так, что в данной схеме основную роль в питании громкоговорителей выполняет оконечная лампа $Л_3$.

Своеобразие схемы включения ламп обусловливает и оптимальное сопротивление нагрузки оконечного каскада в целом, которое при данных лампах и выбранном для них режиме питания равно 800 *ом*. Полное сопротивление звуковых катушек громкоговорителей $Гр_2$ и $Гр_4$ составляет по 200 *ом*, а громкоговорителя $Гр_3$ — 400 *ом* (первые два установлены на боковых стенках футляра, а последний — на отражательной доске).

Канал нижних частот выполнен аналогичным образом. Нижние частоты выделяются фильтром $R_{10}C_{14}$ и подводятся к управляющей сетке ведущей лампы этого канала $Л_4$. Нагрузкой служит электродинамический громкоговоритель $Гр_1$, сопротивление звуковой катушки которого равно 800 *ом*. Регуляторы тембра нижних (R_9) и верхних (R_{11}) звуковых частот помещены на входе соответствующего канала и позволяют лишь

ослаблять усиление на границах частотной характеристики. Подъем ее создается во входном устройстве усилителя.

Интересной особенностью рассмотренной схемы является отсутствие частотно-зависимой отрицательной обратной связи. Однако в схему ведущего каскада каждого канала введена отрицательная обратная связь, которая создается благодаря отсутствию блокировочных

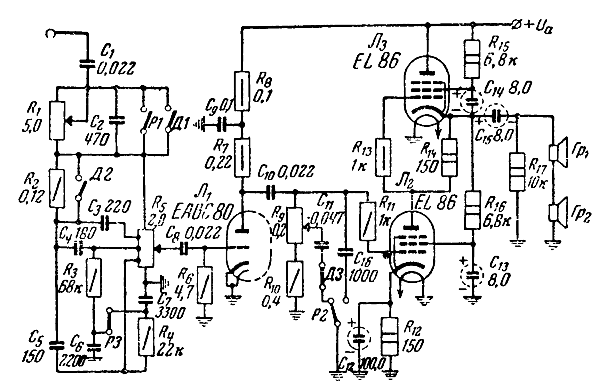


Рис. 54. Схема простого усилителя низкой частоты с оконечным каскадом без выходного трансформатора и тон-регистром.

конденсаторов в цепях экранирующих сеток ламп $Л_2$ и $Л_4$. Введение ее вызвано необходимостью максимально снизить коэффициент нелинейных искажений. В данной схеме он не превышает 3%.

Для оконечного каскада без выходного трансформатора была разработана специальная выходная лампа типа EL86. Использование ее, например, в оконечном каскаде низкочастотного тракта приемника, схема которого приведена на рис. 54, позволило снизить напряжение анодного питания до 170 *в*. При этом анодном напряжении и выходной мощности до 2 *ва* коэффициент нелинейных искажений усилителя не превышает 3%. В остальном схема оконечного каскада почти ничем не отличается от предыдущей схемы. Однако отрицательная обратная связь в ведущей лампе этой схемы отсутствует.

Особенность этой схемы заключается еще и в том, что, помимо плавных регуляторов тембра нижних и верх-

них частот, здесь введен еще дополнительный переключатель, с помощью которого можно изменять частотную характеристику усилителя и тем подбирать наиболее подходящий для данной радиопередачи тембр звучания.

УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ПСЕВДОСТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Рассмотренные выше системы позволяют создавать впечатление объемности звучания, при котором источник звука кажется шире, чем сам приемник. Однако для получения наиболее естественного воспроизведения это-

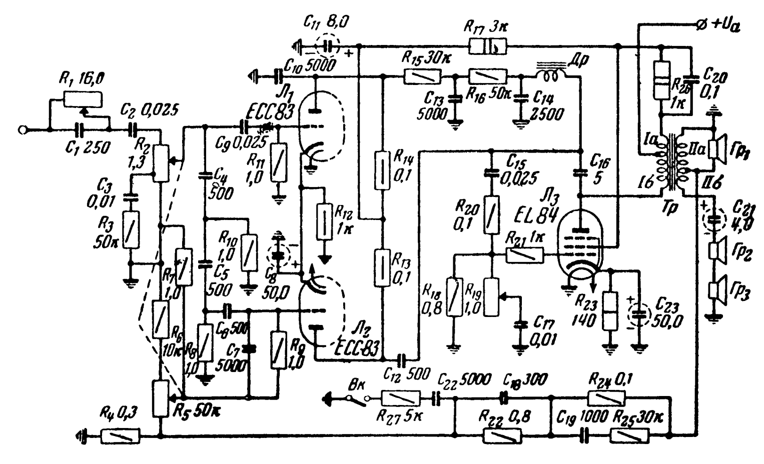


Рис. 55. Схема простого усилителя низкой частоты для псевдостереофонического воспроизведения.

го оказывается недостаточно, ведь желательно не только расширить диаграмму направленности излучения, но и дать возможность слушателю выделить каждый звук.

В результате многочисленных экспериментов удалось создать схему такого усилителя низкой частоты, который позволил получить искусственным путем при обычной радиопередаче эффект стереофоничности звучания. В этой схеме (рис. 55) эффект псевдостереофонического звучания достигается путем разделения полосы воспроизводимых частот на каналы и сдвигом фазы в одном из них (нижнечастотном).

Разделение тракта низкой частоты на каналы производится сразу после регулятора громкости R_2. Верхние частоты через фильтр $R_8R_{10}C_4C_5$ подводятся к управляющей сетке триода $Л_2$, усиливаются им и поступают к управляющей сетке оконечной лампы $Л_3$ через конденсатор C_{12}. Нижние частоты усиливаются триодом $Л_1$ и через тщательно рассчитанную цепочку задержки $R_{15}R_{16}C_{13}C_{14}$ *Др* подводятся к управляющей сетке оконечной лампы. Помимо этого, к аноду лампы $Л_1$ подключен конденсатор C_{10}, задерживающий частоты, превышающие граничную. Разделение полосы частот, подводимой к громкоговорителям нижних $Гр_1$ и верхних $Гр_2$ и $Гр_3$ частот, на каналы производится с помощью конденсатора C_{21}. Таким образом, нижние звуковые частоты подводятся к оконечной лампе с задержкой во времени и также с задержкой воспроизводятся соответствующими громкоговорителями.

Канал верхних частот охвачен частотно-зависимой отрицательной обратной связью, создающей подъем частотной характеристики на верхней границе звукового диапазона. Подъем нижних частот осуществляется *RC*-цепочкой, подключенной к отводу от регулятора громкости. Регуляторы тембра верхних (R_{19}) и нижних (R_1) частот позволяют лишь ослаблять усиление на соответствующих частотах. Помимо регулятора тембра, имеется еще и регулятор пространственного звучания — потенциометр R_5. Он механически объединен с регулятором громкости и включен в цепь отрицательной обратной связи, подключенной к каналу верхних звуковых частот; действие его аналогично действию такого же регулятора в схеме на рис. 42.

Приведенная схема усилителя низкой частоты для псевдостереофонического звучания не единична. Дальнейшие эксперименты в этой области позволили создать ряд схем низкочастотного тракта, создающих псевдостереофонический эффект.

Одна из таких наиболее простых схем усилителя приведена на рис. 56. Этот усилитель построен по двухканальной схеме, но в отличие от других двухканальных усилителей здесь оба канала усиливают весь спектр звуковых частот.

Первый канал усилителя работает на лампах $Л_1$ и $Л_2$. Регуляторы тембра нижних (R_5) и верхних (R_1) ча-

стот помещены до регулятора громкости R_7. Оба каскада этого канала охвачены частотно-зависимой отрицательной обратной связью, в цепь которой включен регулятор пространственного звучания R_6. Выходной трансформатор первого канала $Тр_1$ имеет специальную обмотку *III* с заземленной средней точкой. Напряжение, снимаемое с этой обмотки, проходит через сопротивление

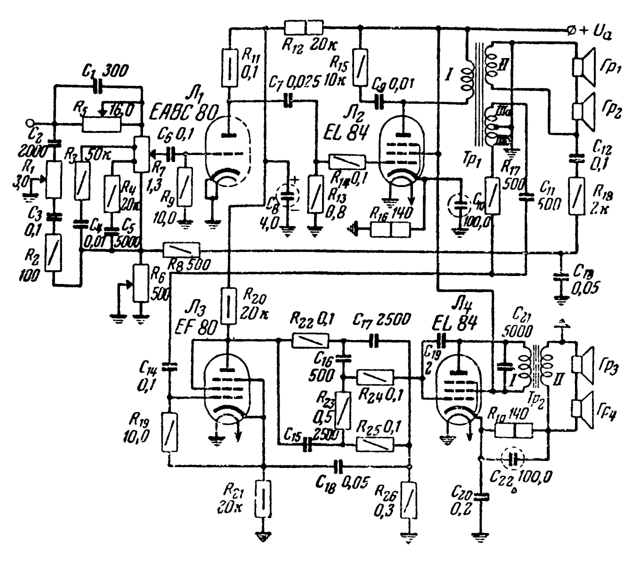


Рис. 56. Схема двухканального усилителя низкой частоты для псевдостереофонического воспроизведения.

R_{17} и конденсатор C_{11}, которые поворачивают фазу в зависимости от частоты. Далее это напряжение подается на управляющую сетку первой лампы ($Л_3$) второго канала. Усиленное этой лампой напряжение попадает на узел из сопротивлений R_{22}, R_{23}, R_{25} и конденсаторов C_{15}, C_{16}, C_{17}, который увеличивает сдвиг фаз.

Оконечный каскад второго канала, работающий на лампе $Л_4$, охвачен двойной отрицательной обратной связью. Первая отрицательная обратная связь подается со вторичной обмотки выходного трансформатора $Тр_2$ на катод лампы с помощью цепи $R_{10}C_{22}C_{20}$, а вторая — с анода лампы $Л_4$ на ее управляющую сетку через конденсатор C_{19} (вторая обратная связь очень невелика).

Необходимо отметить, что для получения наиболее полного эффекта псевдостереофонического звучания частотная характеристика второго канала имеет некоторый подъем в области верхних звуковых частот.

Если в предыдущей схеме сдвиг фазы осуществлялся только на нижних частотах, то в схеме на рис. 56 он происходит на нижних и верхних звуковых частотах; на средних частотах фазы напряжений обоих каналов совпадают. Такая зависимость сдвига фазы от частоты приводит к более резкому выражению эффекта псевдостереофонического звучания.

Следует рассказать и об акустической системе для низкочастотного тракта, схема которого приведена на рис. 56. Она состоит из четырех овальных электродинамических громкоговорителей. Два из них ($Гр_1$ и $Гр_3$), имеющие размеры по осям 210×280 *мм*, расположены на отражательной доске футляра и предназначены для воспроизведения нижних и средних частот. Два других громкоговорителя ($Гр_2$ и $Гр_4$) с осями 130×180 *мм* установлены на боковых стенках футляра и воспроизводят верхние частоты. Громкоговорители каждого канала расположены в футляре рядом (один на отражательной доске, а другой на боковой стенке).

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Несмотря на известность методов стереофонического воспроизведения звука и использования их, например, в широкоэкранном и панорамном кино, в радиовещании и звукозаписи этот метод воспроизведения появился недавно.

Стереофоническое воспроизведение звука в бытовой радиоаппаратуре (приемниках, проигрывателях, магнитофонах) направлено на максимальное приближение его к наиболее естественному. Ведь в естественных условиях источник звука может быть расположен в различном направлении от слушателя. Однако слуховой аппарат человека устроен так, что в зависимости от интенсивности силы звука или разности фаз сигналов, подходящих в данный момент к правому и левому уху, слушатель может точно определить, в каком направлении находятся источники звука.

Проведенные эксперименты по стереофоническому

восприятию звука показали, что на частотах до 300 *гц* ощущение направленности звучания теряется, на частотах 300—1 000 *гц* стереофонический эффект восприятия зависит в основном от разности фаз сигналов у правого и левого уха; а на более высоких частотах преобладающее влияние на восприятие стереофонического эффекта оказывают различия в амплитуде и тембре звучания. Для создания стереофонического эффекта достаточно различия в фазе или интенсивности звука.

Из многочисленных систем стереофонического воспроизведения была выбрана двухканальная как наиболее простая.

Поэтому и стереофонические усилители низкой частоты должны включать в себя два канала. В большинстве случаев это два самостоятельных усилителя, смонтированных на общем шасси и нагруженных на свои акустические системы. Регуляторы громкости и тембра в стереофонических усилителях должны быть спарены, т. е. управляться одной ручкой.

Вместе с тем стереофонические усилители должны быть рассчитаны и на монофоническое воспроизведение. Чаще всего это достигается параллельным включением обоих каналов. При этом переход со стереофонического воспроизведения на монофоническое производят установленным на входе усилителя переключателем, который при монофоническом воспроизведении соединяет оба входа каналов параллельно (такие переключатели на приводимых ниже схемах не показаны). Иногда на параллельную работу включают не целиком оба канала, а только их части или только оконечные каскады.

Одна из наиболее простых схем стереофонического усилителя низкой частоты приведена на рис. 57. Усилитель имеет два идентичных канала усиления, в каждом из которых есть предварительный каскад, работающий на триоде $Л_1$ или $Л_3$, и оконечный каскад с лампой $Л_2$ или $Л_4$. На входе каждого канала установлен регулятор тембра верхних звуковых частот (R_2 и R_{13}) и регулятор громкости (R_4 и R_{15}), к отводу от которых подключены RC-цепочки для тонкомпенсации (R_3C_2 и $R_{14}C_7$). В стереофоническом усилителе эти RC-цепочки выполняют еще одну очень важную роль. Дело в том, что регуляторы громкости обоих каналов должны быть спарены и, кроме того, при изменении уровня сигнала от максималь-

ного до минимального разница между уровнями в обоих каналах не должна превышать 3 *дб*. Для этого нужно выбирать переменные сопротивления не только одинаковыми по номинальной величине, но и такими, чтобы при различных углах поворота их движка величина сопротивления, включенного между управляющей сеткой лампы и шасси, также была одинаковой. Чтобы облег-

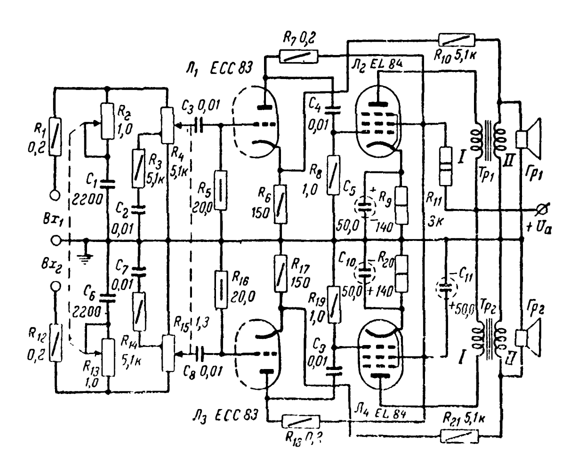


Рис. 57. Схема простейшего стереофонического усилителя низкой частоты.

чить эту задачу, используют потенциометры с отводами, к которым подключают дополнительные сопротивления, рассчитанные так, чтобы создать фиксированные точки полного баланса. Включение последовательно с этими дополнительными сопротивлениями конденсаторов позволяет получить и тонкомпенсацию. Необходимо отметить, что для хорошей работы стереофонического усилителя важно, чтобы отводы от обоих потенциометров были сделаны в одних и тех же по величине сопротивления точках и чтобы к ним были подключены одинаковые дополнительные сопротивления.

Для улучшения параметров усилителя в схему каждого канала введена отрицательная обратная связь, напряжение которой снимается со вторичных обмоток выходных трансформаторов и через сопротивления R_{10} и R_{21} подается в катодные цепи ламп $Л_1$ и $Л_3$.

Схема другого стереофонического усилителя низкой частоты приведена на рис. 58. От предыдущей она отличается использованием в каскадах предварительного усиления обоих каналов пентодов, что несколько повышает усиление каждого канала. Включенные в анодные цепи оконечных ламп RC-фильтры ($R_{10}C_7$ и $R_{23}C_{17}$) предназначены для ослабления усиления за пределами

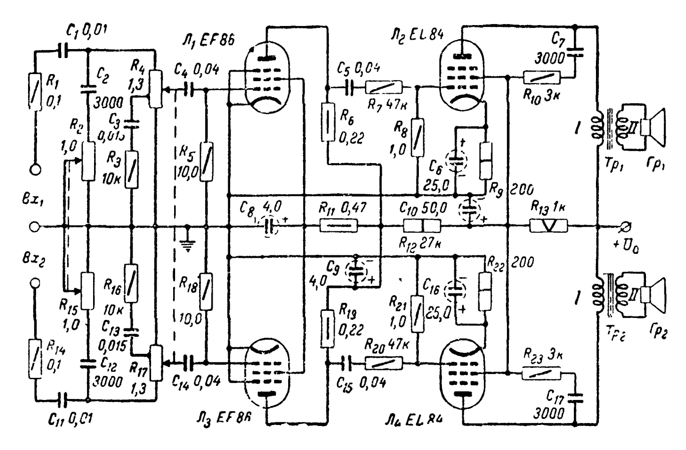


Рис. 58. Схема простого стереофонического усилителя низкой частоты с входными каскадами на пентодах.

полосы пропускания, чтобы устранить возможность самовозбуждения усилителя на сверхвысоких частотах звукового диапазона.

Стереофонический усилитель низкой частоты, схема которого показана на рис. 59, содержит две лампы (два триод-пентода). На входе каждого канала помещен спаренный регулятор громкости с тремя отводами от каждого потенциометра. В усилителе применено ступенчатое регулирование тембра с помощью двух клавиш. При нажиме на клавишу подъема нижних частот замыкаются контакты H_1 и H_2, подключая параллельно конденсаторам C_4 и C_{16} дополнительные конденсаторы большой емкости C_5 и C_{17}. Для подъема верхних частот нужно нажать другую клавишу. В этом случае размыкаются контакты B_1 и B_2, исключая из схемы конденсаторы C_9 и C_{21}. Механически клавиши устроены так, что их можно включать и выключать независимо от положения

других клавиш (усилитель имеет еще клавиши для подключения звукоснимателя или магнитофона, а также выключатель питания). Такое устройство клавишной системы позволяет получать несколько вариантов частотной характеристики усилителя.

Схема еще одного стереофонического усилителя приведена на рис. 60. В отличие от предыдущих схем здесь

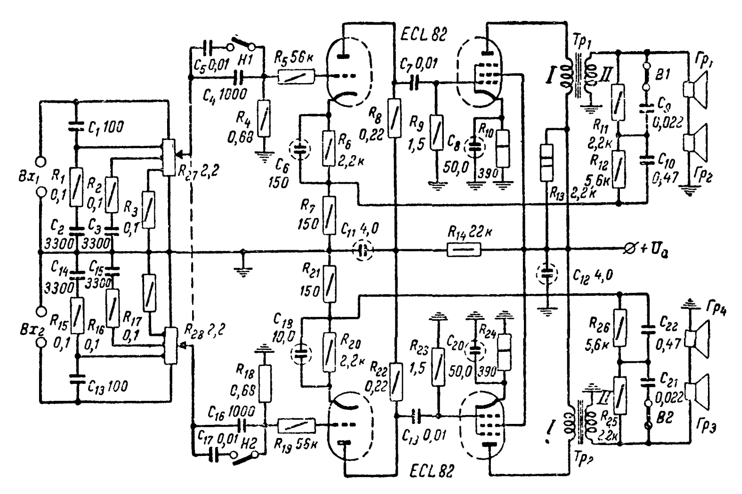


Рис. 59. Схема стереофонического усилителя низкой частоты с клавишным регулятором тембра.

осуществлено раздельное усиление средних и верхних и общее усиление нижних звуковых частот. Последние воспроизводятся громкоговорителем $Гр_1$, а средние и верхние частоты — громкоговорителями $Гр_2$ и $Гр_3$.

Разделение полосы частот на выходе происходит следующим образом. Выходной трансформатор $Тр_1$ с большой индуктивностью первичной обмотки рассчитан в основном на воспроизведение только нижних звуковых частот. Этому же способствует и конденсатор C_{13}, блокирующий первичную обмотку трансформатора $Тр_1$ и замыкающий на шасси верхние и частично средние звуковые частоты (выше 500 *гц*). Ко вторичной обмотке этого выходного трансформатора подключен общий для обоих каналов громкоговоритель нижних частот $Гр_1$.

Последовательно с выходным трансформатором $Тр_1$ включены верхнечастотные выходные трансформаторы

$Тр_2$ и $Тр_3$. Ко вторичным обмоткам этих трансформаторов подключены верхнечастотные громкоговорители $Гр_2$ и $Гр_3$. Воспроизведение только верхних частот звукового спектра обеспечивается благодаря малым индуктивностям первичных обмоток трансформаторов $Тр_2$ и $Тр_3$.

Регулирование тембра в этом усилителе плавное, причем регулятор тембра нижних (R_{28}) общий, а регу-

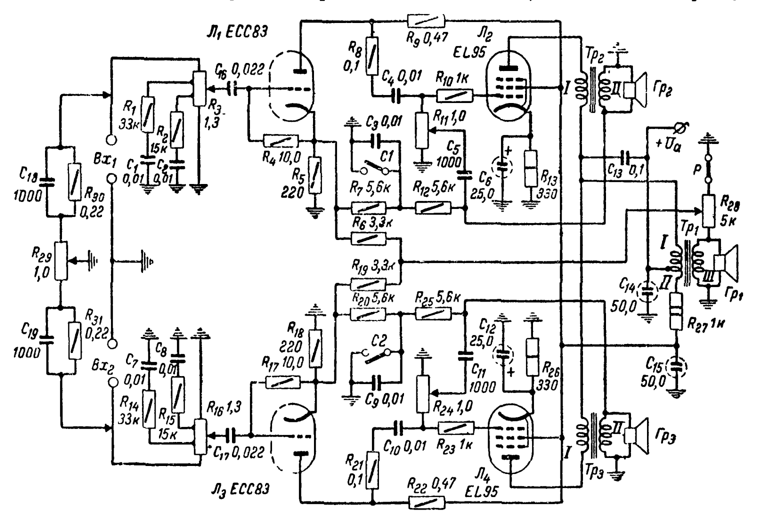


Рис. 60. Схема низкочастотного тракта стереофонического приемника с общим для обоих каналов громкоговорителем нижних частот и регулятором стереобаланса.

ляторы верхних частот (R_{11} и R_{24}) раздельные для каждого канала, но объединены на одной оси.

Регулятор тембра нижних частот включен в цепь отрицательной обратной связи, напряжение которой снимается со вторичной обмотки трансформатора $Тр_1$ и через сопротивления R_6 и R_{19} вводится в катодные цепи ламп $Л_1$ и $Л_3$. Установка тембра производится изменением величины отрицательной обратной связи.

Регулирование тембра верхних частот комбинированное. При нижнем (по схеме) положении движка потенциометра R_{11} (или при верхнем положении движка потенциометра R_{24}) усиление верхних частот максимально. Происходит это потому, что конденсатор C_5 (или C_{11}) замыкает на шасси для верхних частот цепь отрица-

тельной обратной связи, напряжение которой снимается со вторичной обмотки выходного трансформатора $Тр_2$ (или $Тр_3$) и через сопротивления R_7 и R_{12} (или R_{20} и R_{25}) подводится к катоду лампы $Л_1$ (или $Л_3$). Вследствие этого отрицательная обратная связь на верхних звуковых частотах не действует и усиление этих частот велико. По мере передвижения ползунка потенциометра R_{11} из нижнего положения в верхнее блокирующее действие конденсатора C_5 уменьшается, усиление верхних звуковых частот ослабляется и в крайнем верхнем положении движка достигает минимума. Когда движок потенциометра находится в крайнем верхнем положении, конденсатор C_5 оказывается подключенным к управляющей сетке оконечной лампы $Л_2$ (а C_{11} — к управляющей сетке лампы $Л_4$), что также приводит к ослаблению усиления на верхних звуковых частотах. Таким образом, регулирование тембра на верхних частотах звукового диапазона производится как изменением величины напряжения отрицательной обратной связи на этих частотах, так и изменением усиления этих частот.

Помимо плавных регуляторов тембра, в схему усилителя введен тон-регистр с положениями «Речь», «Соло» и «Музыка». При нажиме на кнопку «Речь» размыкаются контакты *Р*, выключая из схемы регулятор тембра нижних звуковых частот и уменьшая усиление на этих частотах. Включением кнопки «Соло» замыкаются контакты *С1* и *С2*, что приводит к уменьшению напряжения отрицательной обратной связи на верхних звуковых частотах и увеличению усиления этих частот. Кнопка «Музыка» контактов не имеет; она возвращает в исходное положение остальные кнопки.

В дальнейшем в схему усилителя (на рис. 60) был введен регулятор стереобаланса («стереогарант») — потенциометр R_{29}, включенный на входе усилителя. Как выяснилось из опыта эксплуатации стереофонических установок, этот элемент схемы (он показан отдельно в левой части рисунка) весьма важен, так как позволяет уравнивать громкости звучания обоих каналов и тем обеспечивает идентичность каналов по усилению.

Схема аналогичного стереофонического усилителя низкой частоты, где также имеется общий громкоговоритель для воспроизведения нижних звуковых частот и раздельные верхнечастотные громкоговорители, показа-

на на рис. 61. Отличается она от предыдущей тем, что в ней не три выходных трансформатора, а два. Громкоговоритель нижних частот $Гр_1$ соединен со вторичными обмотками обоих выходных трансформаторов через дроссель *Др*. Верхнечастотные громкоговорители $Гр_2$ и $Гр_3$ подключены каждый к соответствующему выходному трансформатору через конденсаторы большой емко-

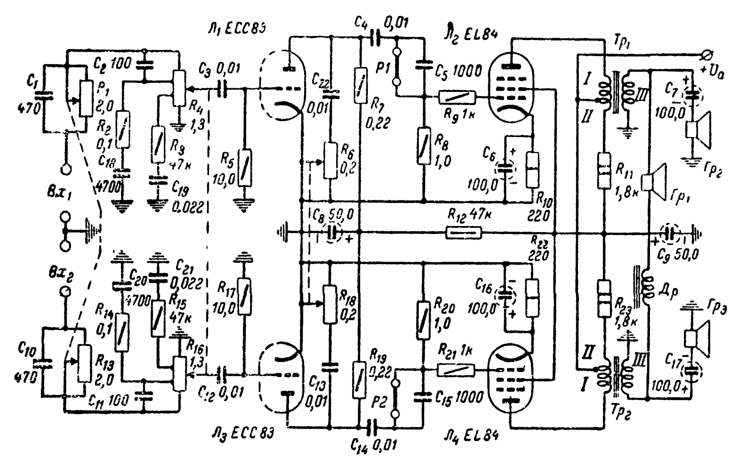


Рис. 61 Схема низкочастотной части стереофонического приемника с общим для обоих каналов громкоговорителем нижних частот и тон-регистром.

сти C_7 и C_{17}, как это было в усилителях низкой частоты для акустических систем объемного звучания.

Регуляторы тембра в этом усилителе плавные и раздельные по нижним и верхним частотам. Регуляторы нижних частот R_1 и R_{13} помещены на входе усилителя, а регуляторы верхних R_6 и R_{18} — между каскадами предварительного усиления и оконечными каскадами. Помимо плавных регуляторов тембра, имеется еще и тон-регистр с положениями «Речь» и «Музыка». В положении «Речь» контакты *P1* и *P2* размыкаются, включая последовательно с разделительными конденсаторами C_4 и C_{14} дополнительные конденсаторы малой емкости C_5 и C_{15} и уменьшая этим усиление на нижних частотах.

Отличительной особенностью стереофонического усилителя низкой частоты, схема которого приведена на рис. 62, является использование в оконечном каскаде

каждого канала двухтактной схемы без фазоинвертора. Принцип работы такого каскада был рассмотрен выше (см. стр. 57). Каждый канал этого усилителя охвачен отрицательной обратной связью, напряжение которой снимается со вторичных обмоток выходных трансформаторов $Тр_1$ и $Тр_2$ и через сложные RC-цепи подводится

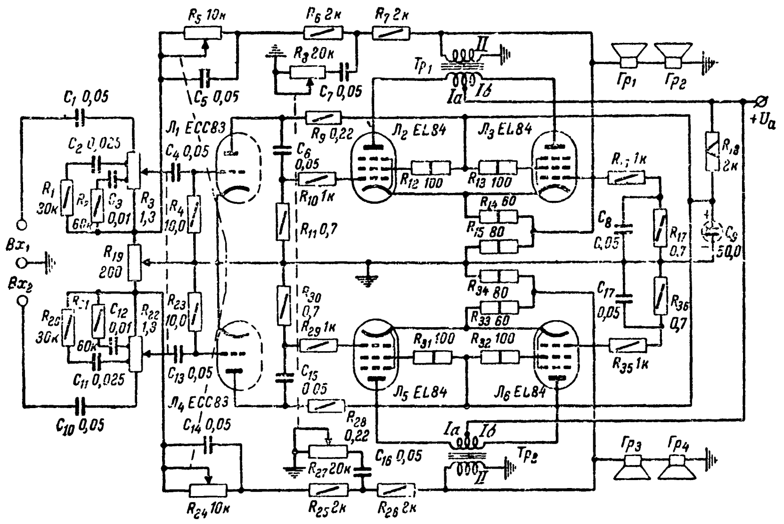


Рис. 62. Схема усилителя низкой частоты с двухтактным оконечным каскадом в каждом канале и регулятором стереобаланса.

к управляющим сеткам ламп предварительного усиления и в цепи катодов оконечных ламп. В цепях отрицательной обратной связи находятся и плавные регуляторы тембра нижних (R_5 и R_{24}) и верхних (R_8 и R_{27}) звуковых частот. На входе усилителя помещен регулятор стереобаланса R_{19}.

Интересна схема стереофонического усилителя низкой частоты, показанная на рис. 63. Акустическая система для каждого канала в этом усилителе состоит из трех громкоговорителей: одного широкополосного ($Гр_1$ и $Гр_4$) и двух верхнечастотных ($Гр_2$, $Гр_3$ и $Гр_5$, $Гр_6$). Оконечные каскады каналов построены по сверхлинейной схеме. Усилитель имеет переключатель $П$, позволяющий переводить его из стереофонического воспроизведения в монофоническое.

При переходе на монофоническое воспроизведение низкочастотное напряжение на второй канал снимается с делителя, образуемого сопротивлениями R_5 и R_6. Так как второй канал в этом случае будет иметь на один каскад больше (каскад на лампе $Л_1$ является при этом предварительным усилителем и напряжение низкой ча-

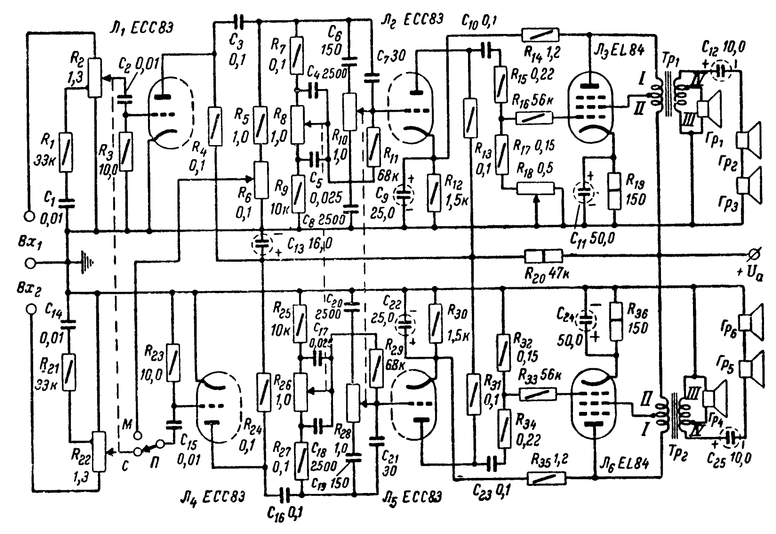


Рис. 63. Схема стереофонического усилителя низкой частоты, который при монофоническом воспроизведении работает как двухтактный.

стоты подается на него через вход $Вх_1$), то с помощью сопротивления R_6 подбирается такое напряжение на управляющей сетке лампы $Л_4$, при котором усиление обоих каналов было бы одинаковым. Нетрудно заметить, что при монофоническом воспроизведении схема усилителя превращается в двухтактную с поворотом фазы на 180° в одном из каналов (нижнем).

Усилитель имеет плавные регуляторы тембра нижних (R_8 и R_{26}) и верхних (R_{10} и R_{28}) звуковых частот, помещенные в цепи усиления, а также регулятор стереобаланса R_{18}, который включен параллельно (по переменному току) нагрузочному сопротивлению лампы $Л_2$ и позволяет подбирать усиление верхнего канала таким же, как и нижнего. В остальном эта схема аналогична предыдущим.

Несколько необычна и схема стереофонического усилителя низкой частоты, приведенная на рис. 64. Этот усилитель построен по так называемой фантомной схеме (фантомные схемы используются в проводной связи для передачи нескольких программ по одной паре проводов).

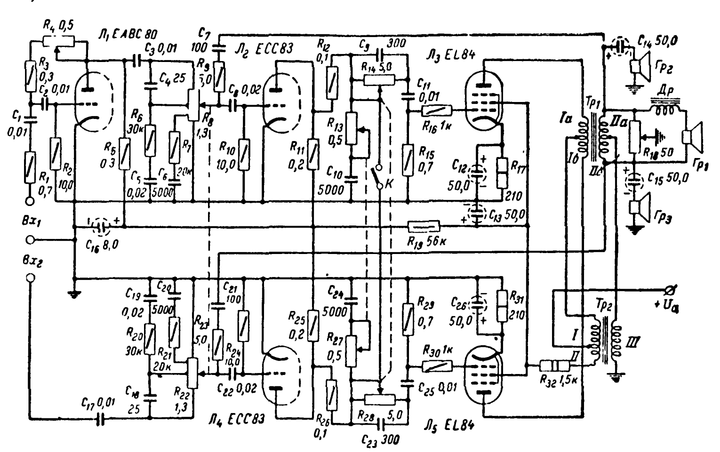


Рис. 64. Схема фантомного стереофонического усилителя низкой частоты.

Чтобы уяснить принцип работы фантомной схемы, рассмотрим рис. 65, на котором эта же схема приведена в сильно упрощенном виде.

Сигнал *А*, подаваемый на вход верхнего канала, поступает на фазоинверсную лампу $Л_1$. Режим ее работы выбран таким, чтобы усиление этого каскада равнялось единице. Затем сигнал *А* через регулятор громкости R_1 попадает на управляющую сетку оконечной лампы $Л_2$. Другой сигнал *Б*, подводимый ко входу нижнего канала, попадает на управляющую сетку оконечной лампы $Л_3$ только через регулятор громкости R_2.

Нагрузкой оконечных ламп служат выходной трансформатор $Тр_1$ и дроссель $Др_1$. Для нормальной работы схемы необходимо, чтобы падения напряжения на половинах первичной обмотки выходного трансформатора и на обмотке дросселя были равными ($U_1 = U_2 = U_3$). Исходя из этого, нужно выбирать и отношения полных сопротивлений первичной обмотки трансформатора и обмотки дросселя.

Усиленный сигнал A проходит через верхнюю половину первичной обмотки выходного трансформатора (между точками *1* и *2*) и обмотку дросселя (точки *2* и *4*). Поскольку выходной трансформатор можно в данном случае рассматривать как автотрансформатор, то в нижней половине первичной обмотки (между точками *2* и *3*) возникает напряжение U_2, равное напряжению

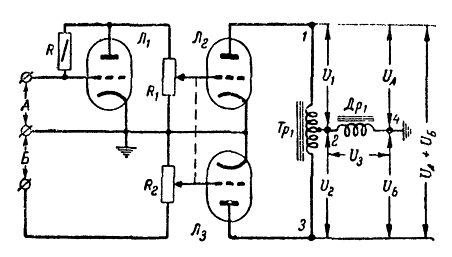


Рис. 65. *Упрощенная схема фантомного стереофонического усилителя.*

U_1, но сдвинутое по фазе на 180°. Поэтому для сигнала A падение напряжения между точками *1* и *4* будет равно $U_А = U_1 + U_3$, а между точками *3* и *4* падение напряжения для другого сигнала будет равно нулю ($U_Б = U_3 - U_2 = 0$).

Сигнал $Б$, минуя фазоинверсную лампу и попадая сразу на оконечную лампу $Л_3$, проходит через нижнюю половину обмотки выходного трансформатора и обмотку дросселя. Здесь, как и в предыдущем случае, будут справедливы равенства: $U_Б = U_2 + U_3$ и $U_А = U_3 - U_1 = 0$.

Таким образом, рассматриваемая схема способна пропустить два независимых сигнала. Если оба подводимых к усилителю сигнала равны по величине и одинаковы по фазе, то оконечный каскад этого усилителя работает как обычный двухтактный каскад. Это имеет место, когда усилитель используется для монофонического воспроизведения, т. е. когда входные зажимы усилителя соединены между собой (включены параллельно). В этом случае при абсолютной симметричности выходного трансформатора, совершенно необходимой для данной схемы, действие дросселя $Др_1$ компенсируется. При стереофоническом воспроизведении работа усилителя как двухтактного проявляется только на нижних зву-

ковых частотах (до 300—400 *гц*). Верхние же и средние частоты воспроизводятся усилителем порознь через самостоятельные однотактные оконечные каскады.

Как видно из схемы на рис. 65, между точками *1* и *3* возникает сумма напряжений $U_А$ и $U_Б$. Поэтому к этим точкам следует подключать (через соответствующий фильтр) громкоговоритель, воспроизводящий нижние звуковые частоты. Верхнечастотные же громкоговорители нужно подключать соответственно к точкам *1—4* и *3—4*.

Вернемся теперь к схеме на рис. 64 и рассмотрим прежде всего оконечные каскады. В анодные цепи оконечных ламп $Л_3$ и $Л_5$ включен симметричный двухтактный выходной трансформатор $Тр_1$. Роль дросселя ($Др_1$ на рис. 65) выполняет здесь трансформатор $Тр_2$. Сложение нижнечастотных сигналов и разделение средних и верхних звуковых частот происходят со стороны вторичных обмоток этих трансформаторов. Для балансировки напряжений на вторичных обмотках трансформаторов введен потенциометр R_{18}. Поскольку положение движка этого потенциометра определяет распределение энергии между выходными трансформаторами $Тр_1$ и $Тр_2$, регулировать его следует так, чтобы обеспечивалось наибольшее переходное затухание (см. стр. 102). Данная схема позволяет получить на средних и верхних звуковых частотах затухание между каналами не менее 20 *дб*.

Акустическая система к этому усилителю состоит из трех громкоговорителей, один из которых (нижнечастотный $Гр_1$) подключен ко вторичной обмотке выходного трансформатора $Тр_1$ через дроссель *Др*, а два других (верхнечастотные $Гр_2$ и $Гр_3$) — через конденсаторы большой емкости C_{14} и C_{15}. При выбранных величинах этих конденсаторов и дросселя граничная частота перехода при стереофоническом воспроизведении получается около 500 *гц*.

Фазоинверсный каскад работает на лампе $Л_1$. Этот каскад охвачен глубокой отрицательной обратной связью, напряжение которой снимается с анода лампы и через сопротивления R_3 и R_4 подается к управляющей сетке этой же лампы. С помощью сопротивления R_4 можно изменять усиление фазоинверсного каскада до 30%.

При стереофоническом воспроизведении сопротивление R_4 может быть использовано как регулятор стереобаланса. Чтобы при монофоническом воспроизведении усиление обоих каналов можно было установить одинаковым, введена кнопка $К$. Замкнув ее контакты, изменяют величину сопротивления R_4 до тех пор, пока громкость монофонической передачи не станет минимальной. Затем контакты этой кнопки размыкают и слушают передачу.

Регуляторы тембра верхних (R_{13} и R_{27}) и нижних (R_{14} и R_{28}) частот помещены перед оконечными каскадами и позволяют изменять усиление на соответствующих частотах звукового диапазона.

Каждый канал усилителя охвачен частотно-зависимой отрицательной обратной связью, напряжение которой снимается со вторичной обмотки выходного трансформатора $Тр_1$ и через цепочки R_9C_7 и $R_{23}C_{21}$ подается в цепи управляющих сеток ламп $Л_2$ и $Л_4$. При модернизации этого усилителя в его схему был введен тон-регистр с двумя кнопками «Музыка» и «Речь» (на рис. 64 не показан). В положении «Речь» движки потенциометров R_{14} и R_{28} отключаются от схемы, вследствие чего значительно ослабляется усиление на нижних звуковых частотах; исключаются из схемы и регуляторы тембра нижних частот. Кнопка «Музыка» контактов не имеет. При нажиме на нее кнопка «Речь» возвращается в исходное положение, включая обратно движки потенциометров и регуляторы тембра нижних частот.

На рис. 66 приведена схема более сложного усилителя, акустическая система которого состоит из пяти громкоговорителей.

Громкоговоритель нижних частот $Гр_1$ здесь общий для обоих каналов. Он подключен ко вторичной обмотке нижнечастотного выходного трансформатора $Тр_1$, отвод от середины которой заземлен. Помимо этого, каждый канал имеет самостоятельный громкоговоритель, воспроизводящий средние частоты звукового диапазона ($Гр_2$ или $Гр_4$) и верхнечастотный громкоговоритель ($Гр_3$ или $Гр_5$). В анодные цепи оконечных ламп $Л_4$ и $Л_7$ включено три выходных трансформатора, один из которых ($Тр_1$) благодаря большой индуктивности первичной обмотки и блокирования ее конденсаторами $С_{16}$ и $С_{17}$ передает только нижние звуковые частоты, а два других

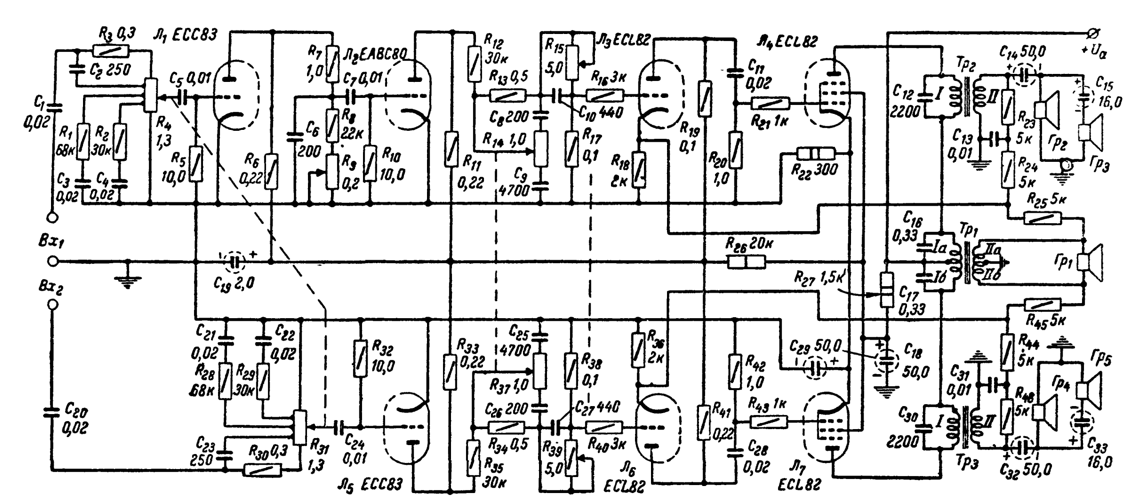


Рис. 66. Схема высококачественного стереофонического усилителя низкой частоты.

($Тр_2$ и $Тр_3$) с небольшой индуктивностью первичной обмотки пропускают только верхние частоты звукового диапазона.

Как и в предыдущем усилителе, верхний канал имеет на один каскад больше, чтобы при переходе на монофоническое воспроизведение (когда входные зажимы усилителя соединены параллельно) усилитель превращался в двухтактный и к одной из оконечных ламп сигнал подходил с фазой, повернутой на 180°. Роль этого дополнительного (фазоинверсного) каскада выполняет лампа $Л_1$. Между ней и лампой $Л_2$ помещен делитель напряжения $R_7R_8R_9$, с помощью которого усиление каскада устанавливается равным единице. При стереофоническом воспроизведении переменное сопротивление R_9 может быть использовано как регулятор стереобаланса.

Плавные регуляторы тембра нижних (R_{15} и R_{39}) и верхних (R_{14} и R_{37}) частот помещены между предварительными каскадами усиления. Регуляторы тембра нижних частот могут лишь ослаблять усиление на этих частотах (подъем их обеспечивается отрицательной обратной связью). Регуляторы тембра верхних частот обеспечивают как ослабление, так и увеличение усиления на этих частотах.

Последние два каскада каждого канала охвачены отрицательной обратной связью по напряжению, снимаемой со вторичных обмоток выходных трансформаторов и вводимой в катодные цепи ламп $Л_3$ и $Л_6$. Чтобы напряжение верхних частот в цепях отрицательной обратной связи было примерно равным напряжению нижних частот, включены дополнительные сопротивления и конденсаторы $R_{23}C_{13}$ и $R_{43}C_{31}$.

В заключение рассмотрим еще некоторые особенности стереофонических усилителей низкой частоты.

Как указывалось выше, одним из новых и весьма важных элементов схемы стереофонического усилителя является регулятор стереобаланса, предназначенный для начального уравнивания усиления обоих каналов. При отсутствии такого регулятора нельзя гарантировать идентичность обоих трактов по усилению, так как трудно подобрать совершенно одинаковые лампы и детали.

О принципе действия и способах включения регулятора стереобаланса уже говорилось. Однако известно еще много вариантов включения такого регулятора

в схему стереофонического усилителя. В последних моделях даже стали применять выносные (дистанционные) регуляторы стереобаланса. На рис. 67 приведено несколько вариантов включения регулятора стереобаланса в схему стереофонического усилителя низкой частоты.

Самая простая схема включения регулятора стереобаланса (рис. 67,*а*) содержит два спаренных потенциометра, включенных так, что при увеличении усиления

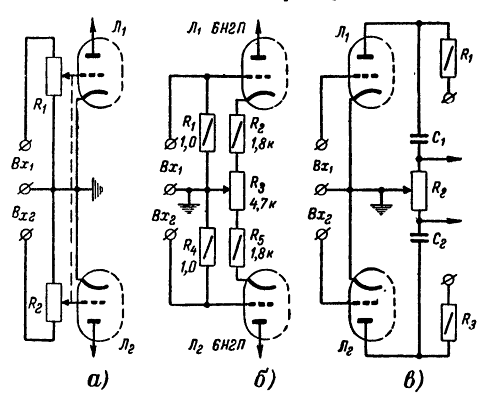


Рис 67. Схемы включения регулятора стереобаланса.

а — на входе усилителя; *б* — в цепи ка одов ламп предварительного усиления; *в* — на выходе предварительного усилителя.

в одном из каналов усиление в другом канале падает. Такой регулятор стереобаланса имеет очень большой диапазон регулирования (вплоть до выключения одного из каналов), но обладает тем недостатком, что приводит к некоторой потери чувствительности усилителя.

Схема на рис. 67,*б* несколько сложнее, но зато она не требует спаренного потенциометра. Ослабление усиления здесь происходит за счет введения отрицательной обратной связи по току, что способствует улучшению качественных показателей каскада. Эта схема легко может быть использована и для дистанционного регулирования.

Регулирование стереобаланса по схеме на рис. 67,*в* основано на шунтировании сопротивления анодной нагрузки одного из каскадов предварительного усиления.

Применение этой схемы позволяет сохранить усиление каналов на начальном уровне. Однако ее нельзя использовать в тех каскадах, где имеются регуляторы тембра, так как при перемещении движка потенциометра R_2 возможно его влияние на частотную характеристику каналов усилителя.

Регуляторы тембра в стереофоническом усилителе, как и регуляторы громкости, должны быть спарены. Они должны иметь не только одинаковую величину, но и обеспечивать идентичность частотных характеристик обоих каналов при любых положениях движков потенциометров. Необходимость в этом вызвана тем, что если частотные характеристики каналов будут отличаться одна от другой, то возможное при этом изменение высоты звука какого-либо инструмента может вызвать кажущееся перемещение его в пространстве (разница между частотными характеристиками обоих каналов на любой частоте не должна превышать 2—3 *дб*).

Очень важным параметром стереофонического усилителя низкой частоты является переходное затухание между каналами (отношение полезного сигнала к сигналу, проникшему из другого канала). На основе многочисленных экспериментов установлено, что для сохранения эффекта стереофоничности звучания переходное затухание между каналами должно быть не менее 20 *дб*. В усилителе для этого нужно тщательно развязать цепи питания анодов и экранирующих сеток ламп и по возможности отдалить один канал от другого или ввести между ними экран. Необходима также тщательная экранировка входных цепей и первых каскадов каждого канала.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМБРА

Во всех усилителях низкой частоты приемников с объемным звучанием применяется раздельная и плавная регулировки тембра на нижних и верхних звуковых частотах. Кроме того, в некоторых усилителях введен еще дополнительный переключатель тембра, позволяющий изменять характеристику усилителя в зависимости

от характера радиопередачи. Все это не случайно, ибо невозможно обеспечить действительно высококачественное воспроизведение, не имея возможности плавно изменять частотную характеристику усилителя низкой частоты.

Заметное на слух изменение тембра происходит в том случае, когда регуляторы позволяют изменять усиление на данной частоте не менее чем на 6 *дб* (в 2 раза). Однако в большинстве случаев для обеспечения действительно высококачественного воспроизведения разнообразных программ этого минимального изменения усиления оказывается недостаточно.

На основе многочисленных опытов установлено, что наиболее естественное воспроизведение любых передач можно подобрать лишь в том случае, когда регуляторы тембра позволяют изменять усиление низкочастотного тракта на нижних и верхних частотах в пределах 15—20 *дб*. Из этого, конечно, не следует, что частотная характеристика должна иметь подъем в 15—20 *дб* на соответствующих частотах. Наоборот, приведенная цифра — это интервал регулирования или, иначе говоря, изменение усиления на данной частоте при крайних положениях регуляторов тембра по отношению к усилению на средней частоте. Обычно действие регулятора тембра нижних частот измеряется на частоте 100 *гц*, а верхних — на частоте 5 000—7 000 *гц*; в качестве средней принимается частота 1 000 *гц*.

В зависимости от свойств и особенностей акустической системы для каждого приемника в отдельности следует подбирать такие пределы изменений усиления при регулировании тембра, при которых происходит выравнивание как частотной характеристики всего тракта по звуковому давлению, так и диаграммы направленности излучения. В большинстве случаев регулятор тембра нижних частот должен обеспечивать изменение частотной характеристики в пределах ±7—10 *дб* по отношению к средней частоте.

Действие регулятора тембра верхних частот должно проявляться в соответствии с полосой пропускания высокочастотного тракта приемника. Если полоса пропускания высокочастотного тракта ограничена и не может изменяться, то целесообразно пределы регулирования тембра распределить равномерно как в сторону повы-

шения, так и в сторону ослабления. Когда же в высокочастотном тракте предусмотрена переменная полоса пропускания и имеется возможность регулировать ее, подъем частотной характеристики в области верхних частот может быть меньшим, чем спад ее на этих же частотах.

Во всех случаях необходимо обеспечить такую регулировку, при которой в любых положениях регуляторов тембра изменение выходного напряжения на частоте 1 000 *гц* не превышает 3 *дб*. Это нужно потому, что при большом изменении выходного напряжения при регулировании тембра будет изменяться и громкость воспроизведения, а это в свою очередь вызовет необходимость регулировать усиление при прослушивании различных передач. Следовательно, выбирая схему регулирования тембра и налаживая работу регуляторов, надо все время следить за изменением выходного напряжения на средней частоте.

Регулирование тембра может быть осуществлено в цепях частотно-зависимой отрицательной обратной связи или без использования обратной связи, а также комбинацией этих двух способов.

Для возможности осуществления регулировки тембра с подъемом частотной характеристики в области нижних и верхних частот при любом способе регулирования необходимо иметь соответствующий запас усиления.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМБРА ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ УСИЛЕНИЯ

Наилучшие результаты как по пределам регулирования, так и по качественным показателям усилителя дают регуляторы тембра, в которых отрицательная обратная связь для регулировки тембра не используется, а применяется лишь для образования определенного подъема частотной характеристики в области нижних и верхних частот. Регулировка тембра в этом случае достигается с помощью регуляторов, ослабляющих усиление на соответствующих частотах. Такой способ регулирования тембра находит широкое применение.

На рис. 68 показано несколько схем регуляторов тембра, построенных по этому принципу. Цепь частотно-зависимой отрицательной обратной связи, с помощью которой осуществляется подъем частотной характери-

стики в области нижних и верхних частот, здесь не показана.

Самая простая схема представлена на рис. 68,*а*. Здесь в качестве регулятора тембра нижних частот используется реостат R_1, параллельно которому включен конденсатор C_2. В крайнем левом положении движ-

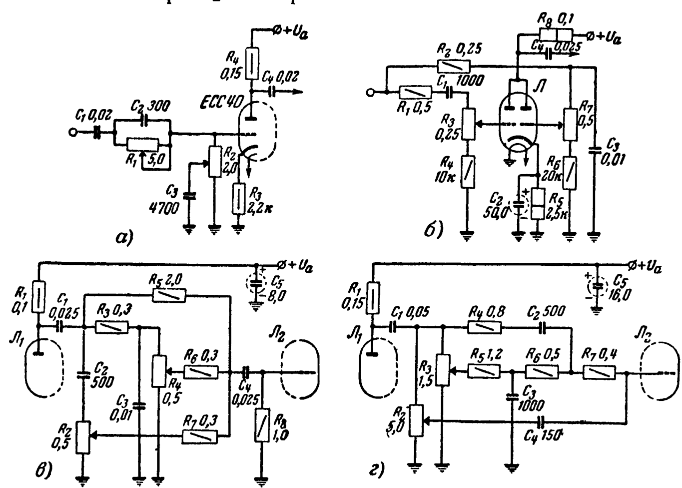


Рис. 68. Схемы регуляторов тембра, расположенных в цепи усиления сигнала и позволяющих только ослаблять усиление на соответствующих частотах.

ка реостата его сопротивление равно нулю и конденсатор C_2 оказывается замкнутым. Следовательно, нижние звуковые частоты, подводимые к регулятору тембра, будут беспрепятственно проходить к управляющей сетке лампы и частотная характеристика усилителя будет иметь подъем на нижних частотах. По мере передвижения движка вправо сопротивление реостата будет возрастать и в крайнем правом положении достигнет максимальной величины. В этот момент сопротивление реостата R_1 будет равно или несколько больше реактивного сопротивления конденсатора C_2 для нижних частот. Общее сопротивление цепи для этих частот возрастет, и они будут ослаблены.

Регулирование усиления на верхних частотах осуществляется потенциометром R_2 с помощью конденсатора C_3. В нижнем положении движка потенциометра кон-

денсатор C_3 оказывается замкнутым и верхние звуковые частоты полностью подводятся к управляющей сетке лампы. Следовательно, частотная характеристика усилителя будет иметь подъем на этих частотах. При перемещении движка в крайнее верхнее положение конденсатор C_3 оказывается включенным между управляющей сеткой лампы и шасси, что приводит к ослаблению верхних частот, которые свободно проходят через этот конденсатор на шасси. Потенциометр R_2 одновременно выполняет и функцию сопротивления утечки сетки лампы.

Совершенно иначе построена схема регулирования тембра, приведенная на рис. 68,*б*. Здесь в качестве предварительного усилителя может быть использован двойной триод любого типа. В этой схеме весь спектр звуковых частот разделяется на два канала. Нижние частоты подводятся к управляющей сетке правого, а верхние — к управляющей сетке левого триода. Регуляторы тембра нижних (R_7) и верхних (R_3) частот являются лишь регуляторами усиления соответствующих каскадов.

Пределы регулирования можно изменять путем подбора величин сопротивлений R_4 и R_6. Аноды обоих триодов соединены между собой и подключены к общему нагрузочному сопротивлению R_8. С него звуковые частоты подводятся к следующему каскаду через конденсатор C_4.

Следует отметить, что подобные схемы особенно удобны, когда усилитель низкой частоты предполагается собрать по двухканальной схеме. Тогда нужно в каждый триод поставить самостоятельное сопротивление анодной нагрузки, а с него подавать напряжение низкой частоты на соответствующий оконечный каскад.

В схеме на рис. 68,*в* спектр звуковых частот, усиленный лампой $Л_1$, разделяется на три канала. Верхние частоты подводятся через конденсатор C_2 к потенциометру R_2 и с его движка к управляющей сетке лампы $Л_2$. Нижние частоты проходят к управляющей сетке второй лампы через потенциометр R_4, а средние — через сопротивление R_5. В этой схеме, как и в предыдущей, регулирование тембра осуществляется путем изменения усиления на соответствующих частотах.

Другая аналогичная схема показана на рис. 68,*г*. Здесь регуляторы тембра нижних (R_3) и верхних (R_2) частот также изменяют усиление на соответствующих частотах, а средние частоты проходят через сопротив-

ление R_4 и конденсатор C_2. Если в этой схеме сопротивление R_4 заменить потенциометром, к движку которого подключить конденсатор C_2, то с его помощью можно будет изменять усиление на средних частотах.

Как уже говорилось выше, для подъема частотной характеристики на краях полосы пропускания усилителя обычно используют частотно-зависимую отрицательную обратную связь. Схемы подачи такой отрицательной обратной связи нами рассматривались ранее при описании различных усилителей. Теперь мы рассмотрим одну весьма интересную схему цепи частотно - зависимой отрицательной обратной связи, в которой использован двойной Т-образный фильтр (рис. 69).

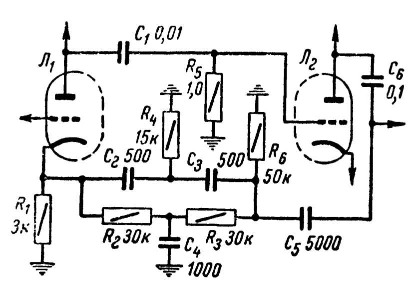


Рис. 69. Схема частотно-зависимой отрицательной обратной связи, создающей подъемы на верхних и нижних звуковых частотах.

В этой схеме, работающей на любом двойном триоде (например, типа 6Н1П), напряжение отрицательной обратной связи снимается с анодной нагрузки лампы $Л_2$ и через конденсатор C_5 и двойной Т-образный фильтр вводится в цепь катода лампы $Л_1$. Сам двойной Т-образный фильтр, состоящий из сопротивлений $R_2R_3R_4$ и конденсаторов $C_2C_3C_4$, имеет частоту перехода около 1 000 *гц*. Применение такой схемы подачи отрицательной обратной связи позволяет получить подъем частотной характеристики усилителя на частотах 100 и 10 000 *гц* не менее, чем на 15 *дб*.

В некоторых случаях желательно применить скачкообразное регулирование тембра. Для этого может быть использована схема, показанная на рис. 70. Здесь переключатель $П_1$ предназначен для регулирования тембра в области верхних, а переключатель $П_2$ — в области нижних частот звукового диапазона.

При переводе переключателя $П_1$ в одно из левых (по схеме) положений параллельно сопротивлению R_3 (в цепи катода лампы) подключается один из конденсаторов C_2C_3 или C_4, вследствие чего отрицательная обрат-

ная связь на верхних звуковых частотах уменьшается и в характеристике усилителя получается подъем на этих частотах. Если же переключатель $П_1$ установлен на один из правых (по схеме) контактов, то анодная цепь лампы окажется заблокированной одним из кон-

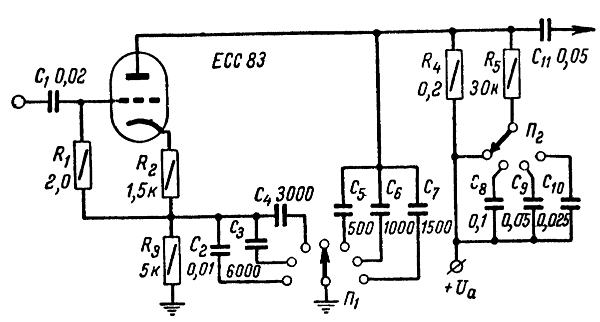


Рис. 70. Схема ступенчатых регуляторов тембра.

денсаторов C_5, C_6 или C_7, что приведет к ослаблению усиления верхних частот звукового спектра.

Изменением положения ползунка переключателя $П_2$ включают параллельно сопротивлению анодной нагрузки лампы R_4 фильтр нижних частот, состоящий из сопротивления R_5 и конденсаторов C_8, C_9 или C_{10}. Это приводит к подъему частотной характеристики усилителя на нижних звуковых частотах.

Интересная схема регулирования тембра, примененная в одном из современных приемников среднего класса, приведена на рис. 71. В ней, как и в предыдущих схемах, регуляторы тембра нижних (R_6) и верхних (R_3) частот могут лишь ослаблять усиление на соответствующих частотах. Подъем частотной характеристики в этом усилителе осуществляется тремя RC-фильтрами, подключенными к отводам от регулятора громкости (на схеме не показан).

Схема на рис. 71 позволяет получить так называемое балансное регулирование тембра. Известно, что для достижения высококачественного звучания приемника необходимо обеспечить такой баланс между крайними частотами звукового спектра, воспроизводимого приемником, при котором соблюдается равенство

$$\sqrt{F_{\text{макс}} F_{\text{мин}}} = 800,$$

где $F_{макс}$ и $F_{мин}$ — максимальная и минимальная частоты звукового спектра.

Наряду с раздельной регулировкой тембра на нижних и верхних частотах в приемнике предусмотрена возможность и механического объединения регуляторов тембра. Элементы усилителя подобраны так, что при

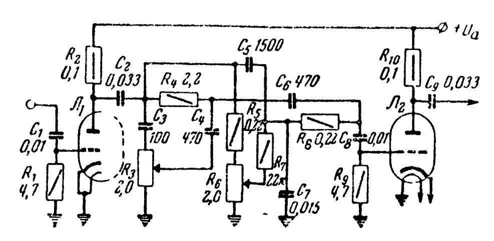


Рис. 71. Схема включения регуляторов тембра, обеспечивающих балансное регулирование.

объединенном регулировании тембра обеспечивается балансное изменение полосы пропускания усилителя, а это в свою очередь позволяет получить хорошее звучание приемника даже при относительно узкой полосе воспроизводимых частот.

Другая, тоже очень интересная схема регулирования тембра показана на рис. 72. В ней, помимо плавных регуляторов тембра нижних и верхних частот, имеются еще три плавных регулятора, позволяющих изменять частотную характеристику усилителя на фиксированных частотах 600, 1 800 и 3 600 *гц*, а также выносной пульт, с помощью поторого можно регулировать на расстоянии до 3 *м* громкость и тембр звучания.

Регулирование тембра верхних частот и на фиксированных частотах комбинированное. Чтобы легче понять принцип работы такого регулирования, необходимо сначала рассказать об устройстве потенциометров R_6, R_7, R_8 и R_9, с помощью которых и происходит регулирование тембра. Каждый из этих потенциометров представляет собой как бы два реостата по 50 *ком* каждый. Движок потенциометра, двигаясь из одного крайнего положения в другое, сначала контактирует с одной частью сопротивления, потом попадает на изолированный участок, а затем переходит на другую часть сопротивления.

Схематическое изображение устройства такого потенциометра показано на рис. 72 отдельно от схемы (внизу слева).

Как же происходит регулирование тембра. Предположим, что первоначально движок потенциометра R_9 (регулятора тембра верхних частот) находится в крайнем правом (по схеме) положении. При этом конденсатор C_7 оказывается включенным в анодную цепь лам-

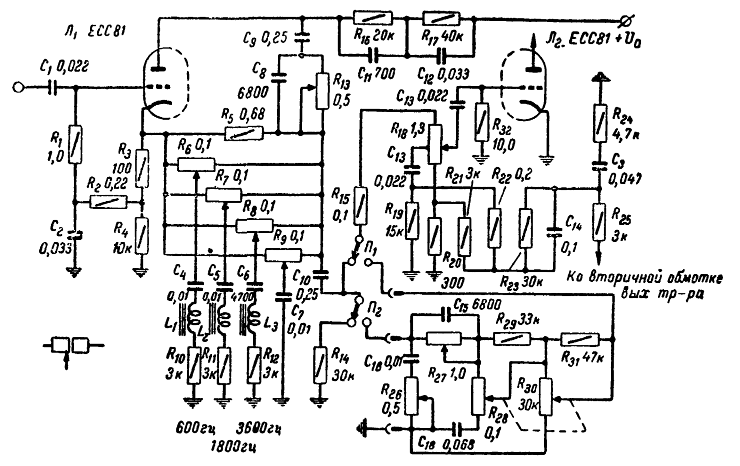


Рис. 72. Схема предварительных каскадов усилителя низкой частоты с плавными регуляторами тембра на фиксированных частотах и выносными регуляторами тембра и громкости.

пы $Л_1$ и через него верхние частоты звукового диапазона замкнутся на шасси. Следовательно, усиление на этих частотах будет минимальным. По мере передвижения движка влево блокирующее действие конденсатора ослабляется, а когда движок попадает на изолированный участок, это действие прекращается вовсе. При дальнейшем движении ползунка влево он попадет на другую часть потенциометра, и конденсатор C_7 окажется подключенным к катодной цепи лампы $Л_1$.

Каскад предварительного усиления, работающий на лампе $Л_1$, охвачен отрицательной обратной связью, напряжение которой снимается с анода лампы и вводится в цепь ее катода через сопротивление R_5. При перемещении движка потенциометра R_9 влево конденсатор C_7 оказывается включенным параллельно нагрузочному со-

противлению цепи отрицательной обратной связи (R_3+ $+R_4$). Верхние звуковые частоты при этом замыкаются через конденсатор на шасси, напряжение их на нагрузочном сопротивлении цепи отрицательной обратной связи уменьшается, создавая тем самым подъем частотной характеристики на этих частотах.

Точно так же работают и регуляторы тембра фиксированных частот. Однако здесь к движкам потенциометров подключены не конденсаторы, а LC-фильтры, настроенные на указанные частоты. Чтобы действие этих фильтров не ограничивалось только этими частотами, но и захватывало прилегающие к ним участки частотной характеристики усилителя, последовательно с фильтрами включены сопротивления R_{10}, R_{11} и R_{12}, уменьшающие добротность контуров фильтров и тем самым расширяющих полосу пропускания контуров.

Регулятор тембра нижних звуковых частот R_{13} помещен между каскадами предварительного усиления и может только ослаблять усиление на этих частотах. Подъем характеристики усилителя на нижних частотах звукового диапазона создается с помощью частотно-зависимой отрицательной обратной связи, напряжение которой снимается со вторичной обмотки выходного трансформатора и подводится к управляющей сетки лампы $Л_2$.

Пульт дистанционного регулирования имеет спаренный регулятор громкости $R_{28}R_{30}$ с тонкомпенсацией и регуляторы тембра нижних (R_{27}) и верхних (R_{26}) звуковых частот, ослабляющих усиление на соответствующих участках частотной характеристики. Включение пульта производится переключателями $П_1$ и $П_2$. При переходе на дистанционное регулирование основные регуляторы тембра должны быть переведены в положение наибольшего усиления соответствующих частот.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМБРА С ПОМОЩЬЮ ЧАСТОТНО-ЗАВИСИМОЙ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Выше мы говорили, что регулирование тембра можно осуществить изменением глубины частотно-зависимой отрицательной обратной связи. Одна из наиболее простых схем регулирования тембра в цепи отрицательной обратной связи показана на рис. 73,*а*.

Частотно-зависимая отрицательная обратная связь в этой схеме подается со вторичной обмотки выходного трансформатора на катод лампы первого каскада предварительного усиления, охватывая весь низкочастотный

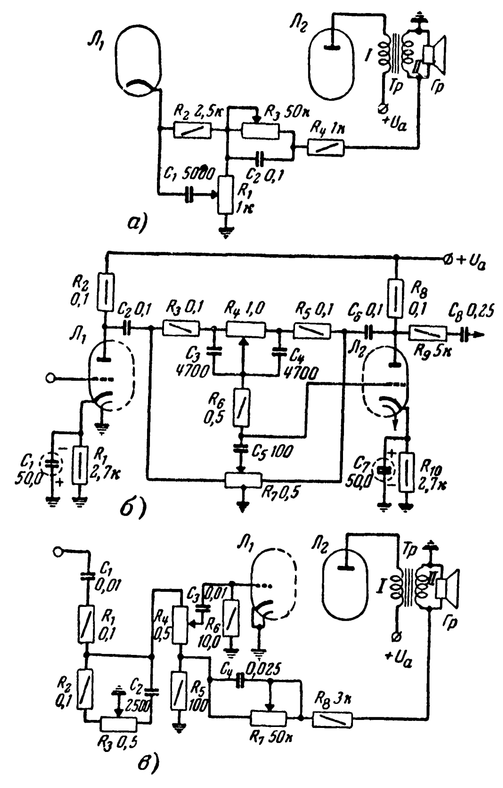


Рис. 73. Схемы регуляторов тембра, помещенных в цепи отрицательной обратной связи.

тракт. В ее цепь входят регуляторы тембра нижних (R_3) и верхних (R_1) частот. Напряжение обратной связи, подаваемое на катод лампы $Л_1$, снимается с сопротивления R_1. Чем больше это напряжение, тем глубже обратная связь и, следовательно, тем меньше усиление низкочастотного тракта.

Регулирование нижних частот производится реостатом R_3, параллельно которому включен конденсатор C_2.

Сопротивление этого конденсатора на верхних и средних частотах мало, поэтому напряжение отрицательной обратной связи, а следовательно и ослабление усиления на этих частотах, получается максимальным. Изменение величины сопротивления R_3 не оказывает влияния на усиление на средних и верхних частотах. По мере понижения частоты падение напряжения отрицательной обратной связи на сопротивлении R_1 уменьшается из-за увеличения реактивного сопротивления конденсатора C_2. Это приводит к уменьшению глубины обратной связи на нижних частотах и, следовательно, к увеличению усиления на них. С уменьшением величины R_3 при регулировании тембра полное сопротивление участка цепи R_3C_2 для нижних частот уменьшается, напряжение обратной связи возрастает, а усиление падает. Таким образом, с выведением сопротивления R_3 подъем частотной характеристики на нижних частотах уменьшается.

Для регулирования верхних частот использован потенциометр R_1. Когда движок находится на каком-либо участке этого потенциометра, образуется делитель напряжения, состоящий из сопротивления R_2 и конденсатора C_1, включенных параллельно верхней (по схеме) части потенциометра R_1. Конденсатор C_1 представляет большое сопротивление для нижних и средних частот. Поэтому на катод лампы $Л_1$ поступает полное напряжение отрицательной обратной связи, образующееся на сопротивлении R_1. Для верхних частот сопротивление конденсатора C_1 мало. Вследствие этого напряжение отрицательной обратной связи в большой степени зависит от положения движка потенциометра R_1. В верхнем положении движка этого потенциометра конденсатор C_1 оказывается включенным параллельно сопротивлению R_2, на катод лампы $Л_1$ подается полное напряжение отрицательной обратной связи и ослабление усиления на верхних частотах становится максимальным. По мере передвижения движка потенциометра R_1 вниз напряжение отрицательной обратной связи на катоде лампы для верхних частот уменьшается и усиление на этих частотах возрастает.

Другая схема регулирования тембра с использованием частотно-зависимой отрицательной обратной связи приведена на рис. 73,*б*. Вследствие симметричного размещения между лампами регуляторов тембра нижних

(R_4) и верхних (R_7) частот усиление каскада на средней частоте близко к единице. Действует эта схема так: когда движки потенциометров R_4 и R_7 находятся в среднем положении, частотная характеристика каскада прямолинейна; по мере передвижения движков в ту или иную сторону изменяется глубина отрицательной обратной связи, а это в свою очередь приводит к изменению усиления на соответствующих частотах.

Достоинство этой схемы регулирования тембра — большая крутизна срезов частотной характеристики, которая почти не изменяется при регулировании, а недостаток ее — необходимость применения потенциометра с отводом от средней точки для регулирования верхних частот. Правда, сделать отвод даже в радиолюбительских условиях нетрудно, но можно и не делать отвода от потенциометра, если в цепь управляющей сетки лампы $Л_2$ включить сопротивление утечки в 0,5—1 *Мом*, а емкость конденсатора C_6 увеличить до 0,25 *мкф*. Можно также воспользоваться схемой на рис. 40.

Следует отметить, что даже при максимальных подъемах частотной характеристики на краях звукового диапазона глубина отрицательной обратной связи остается достаточно большой, а это обеспечивает малые нелинейные искажения.

Приведенные на рис. 73,*б* данные деталей обеспечивают достаточно глубокое регулирование тембра (до 20 *дб*) при использовании лампы типа 6Н8С и напряжении анодного питания порядка 250 *в*.

В качестве комбинированного регулирования тембра, когда один из регуляторов помещен в цепи усиления, а другой в цепи отрицательной обратной связи, может служить схема, показанная на рис. 73,*в*. Здесь регулятор верхних частот (R_3) изменяет усиление на верхних частотах. Регулятор тембра нижних частот (R_7) помещен в цепи частотно-зависимой отрицательной обратной связи; действие его аналогично действию регулятора, рассмотренного в схеме на рис. 73,*а*.

Иногда может потребоваться регулировать тембр звучания на выходе усилителя. Одна из пригодных для этой цели и наиболее простых схем приведена на рис. 74. Здесь громкоговорители верхних ($Гр_1$) и нижних ($Гр_2$) звуковых частот подключены ко вторичным обмоткам соответствующих выходных трансформаторов

$Тр_1$ и $Тр_2$, первичные обмотки которых соединены последовательно и включены в анодную цепь оконечной лампы. Чтобы громкоговоритель $Гр_2$ не воспроизводил верхних частот звукового диапазона, первичная обмотка выходного трансформатора $Тр_2$ блокирована конденсатором большой емкости.

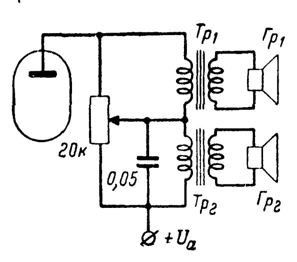


Рис. 74. Схема регулирования тембра на выходе усилителя.

В качестве регулятора тембра используется потенциометр, включенный параллельно первичным обмоткам выходных трансформаторов. Когда движок потенциометра находится в крайнем верхнем (по схеме) положении, трансформатор $Тр_1$ оказывается замкнутым; в этом случае воспроизводиться будут только нижние звуковые частоты. При перемещении движка потенциометра в нижнее крайнее положение замкнутым окажется трансформатор $Тр_2$; в этом случае будут воспроизводиться только верхние звуковые частоты. В среднем положении движка воспроизводится весь спектр частот, пропускаемый усилителем.

ТОН-РЕГИСТРЫ

Мы уже говорили о переключателях тембра, позволяющих простым нажатием кнопки или клавиши изменять частотную характеристику усилителя низкой частоты в соответствии с прослушиваемой программой. Такие переключатели тембра, названные тон-регистром, получили в настоящее время очень широкое распространение. Введение тон-регистра в приемник значительно упрощает пользование им, так как это позволяет путем нажатия на одну из его клавиш или кнопок легко и быстро установить такой тембр звучания, при котором прослушиваемая передача звучит наиболее приятно.

Примененная в усилителе низкой частоты (рис. 54) схема тон-регистра — одна из наиболее простых. Она имеет всего три положения: «Речь», «Концерт» и «Джаз».

При нажатии на клавишу «Речь» контакты *Р1* замыкают регулятор R_1 тембра нижних частот, а контакты

Р2 выключают из схемы регулятор $Р_9$ тембра верхних частот и вместо него включают конденсатор $С_{16}$, который ослабляет усиление на верхних частотах. Одновременно размыкаются контакты *Р3*, вследствие чего уменьшается усиление и на нижних частотах. Такое сужение полосы воспроизводимых частот благоприятно сказы-

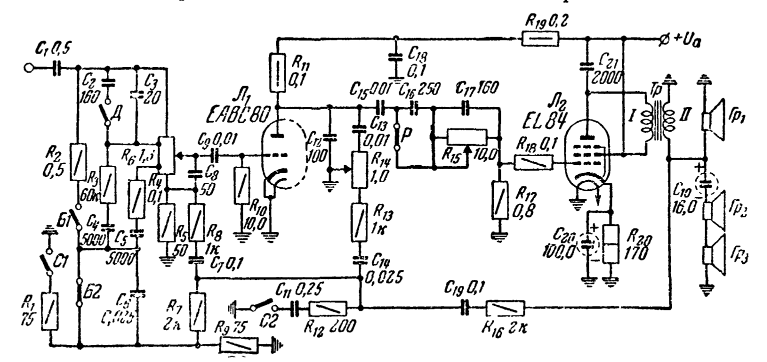


Рис. 75. Схема простого усилителя низкой частоты с тон-регистром на пять положений.

вается не только на тембре звучания речевых передач, но и на разборчивости речи.

В положении «Джаз» оба регулятора тембра также исключены из схемы. Одновременно благодаря замыканию сопротивления R_2 контактами *Д2* верхние частоты попадают через конденсаторы $С_3$, $С_4$ и $С_5$ непосредственно на отводы регулятора громкости, а это в свою очередь приводит к повышению усиления на верхних частотах.

Клавиша «Концерт» контактов не имеет; она лишь возвращает в исходное положение клавиши «Речь» и «Джаз». При ее нажатии включаются оба регулятора тембра, с помощью которых можно подобрать наиболее приятный тембр звучания.

Схема другого усилителя низкой частоты, в которую также введен тон-регистр, приведена на рис. 75. В отличие от предыдущего усилителя здесь переключатель тембра имеет пять положений «Речь», «Оркестр», «Соло», «Джаз» и «Бас».

При нажатии на кнопку «Речь» размыкаются контакты *Р*, включая последовательно с разделительным

конденсатором C_{15} дополнительный конденсатор C_{16}. Емкость этого конденсатора невелика, вследствие чего значительно ослабляются нижние частоты, устраняя бубнение при воспроизведении речи.

При нажатии на кнопку «Соло» замыкаются контакты *C1* и *C2*. Первые из них включают параллельно сопротивлению R_9 добавочное сопротивление R_1. При этом уменьшается глубина отрицательной обратной связи, что позволяет несколько повысить усиление на средних частотах и тем выделить солирующий инструмент или певца. Контакты *C2* включают в цепь частотно-зависимой отрицательной обратной связи дополнительный фильтр $R_{12}C_{11}$, который повышает усиление на верхних звуковых частотах. В результате при нажатой кнопке «Соло» подчеркиваются как основные тона солирующего инструмента или певца, так и их высшие гармонические составляющие, лежащие преимущественно в области средних или верхних частот.

При нажатии на кнопку «Джаз» контактами *Д* производится подключение дополнительного конденсатора C_2 к верхнему отводу от регулятора громкости. Благодаря этому значительно повышается усиление на верхних частотах и частотная характеристика на этих частотах имеет ярко выраженный пик.

Кнопка «Оркестр», как и в предыдущем усилителе, контактов не имеет и служит лишь для возврата в исходное положение остальных кнопок. При нажатии этой кнопки низкочастотный тракт приемника приобретает свою обычную характеристику с некоторым подъемом на нижних и верхних частотах, что обеспечивает равномерное воспроизведение всей полосы частот.

Кнопка «Бас» выполнена несколько необычно: она может включаться и выключаться независимо от положения других кнопок. Это так называемая кнопка самостоятельного действия; при первом нажатии на нее происходит включение, и кнопка остается в нажатом положении, а при следующем нажатии кнопка освобождается и под действием специальной пружины возвращается в исходное положение, производя выключение.

При нажатии на кнопку «Бас» контакты *Б1* замыкаются, а контакты *Б2* размыкаются. В этом случае резко повышается уровень нижних частот по отношению к уровню средних частот, напряжение которых подается

на корректирующие фильтры R_3C_4 и R_4C_5 через сопротивление R_2. Одновременное включение конденсатора C_6 приводит к наибольшему соответствию кривым равной громкости при регулировании усиления.

Следует отметить, что для подбора наиболее подходящего тембра звучания данной программы можно включать одновременно две или несколько кнопок. В этом случае получаются 32 различных варианта изме-

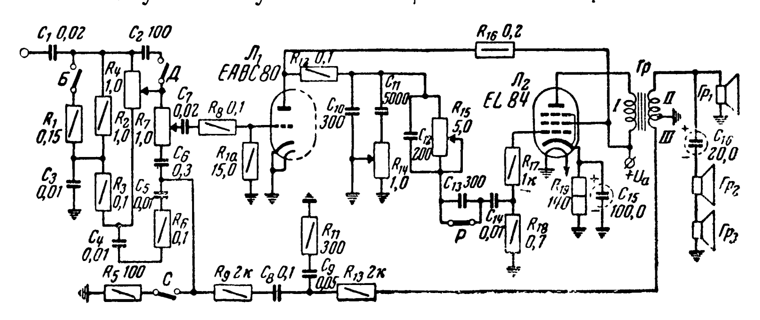


Рис. 76. Схема усилителя низкой частоты с тон-регистром, имеющим простую контактную систему.

нения частотной характеристики низкочастотного тракта приемника. В дополнение к кнопкам можно использовать и регуляторы тембра нижних (R_{15}) и верхних (R_{14}) частот.

Другая аналогичная схема усилителя низкой частоты с тон-регистром, примененная в недорогом приемнике среднего класса, приведена на рис. 76. Как и в предыдущем усилителе, здесь тон-регистр имеет пять кнопок, выполняющих те же функции. Однако в отличие от предыдущего усилителя здесь использована простая контактная система, имеющая всего по одной паре контактов. Три кнопки *Б* («Бас»), *Д* («Джаз») и *С* («Соло») работают на замыкание, а четвертая — *Р* («Речь») — на размыкание. Помимо этого, в схеме регулировки громкости использованы простые потенциометры R_4 и R_7, объединенные на одной оси. Регуляторы тембра нижних (R_{15}) и верхних (R_{14}) частот помещены между предварительным и оконечным каскадами.

Те же пять положений имеет и тон-регистр усилителя низкой частоты, схема которого показана на рис. 77. Здесь переключатели тон-регистра помещены не только

в цепи усиления и отрицательной обратной связи, но и в цепи громкоговорителей акустической системы приемника. Так, при включении кнопки «Речь» контакты *Р1* ослабляют усиление на границах полосы пропускания низкочастотного тракта, а контакты *Р2* выключают из схемы громкоговорители верхних и средних частот $Гр_2$,

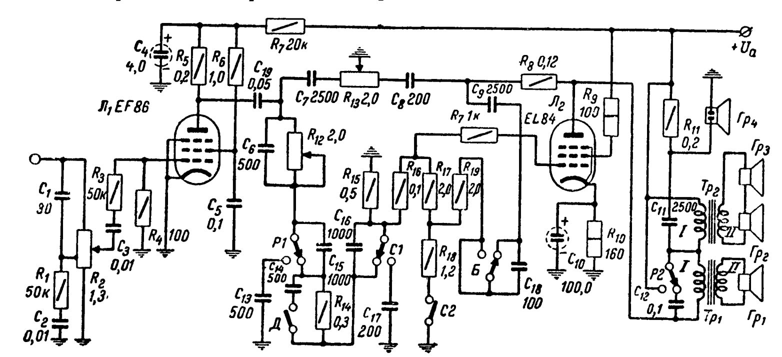


Рис. 77. Схема низкочастотной части приемника с тон-регистром на пять положений.

$Гр_3$, $Гр_4$ и одновременно расширяют диапазон звучания громкоговорителя $Гр_1$ благодаря отключению от первичной обмотки выходного трансформатора $Тр_1$ блокирующего конденсатора C_{12}. Введение дополнительных контактов *Р2* позволило избежать неприятной в приемниках с объемным звучанием «расплывчатости» звучания речевых программ. Использование в этом случае одного фронтального громкоговорителя и расширение диапазона его звучания улучшают воспроизведение приемником речевых передач. Назначение и принцип действия других кнопок такие же, как и в предыдущих усилителях.

Еще одна схема усилителя с тон-регистром показана на рис. 78. Тон-регистр здесь имеет кнопки «Речь» (*Р*), «Симфоническая музыка» (*С*), «Камерная музыка» (*К*), «Танцевальная музыка» (*Т*) и «Джаз» (*Д*). Кнопка «Речь» помещена на входе усилителя (с ее помощью можно ослаблять усиление нижних звуковых частот). Остальные кнопки находятся в цепи отрицательной обратной связи.

Следует отметить различие частотных характеристик усилителя при использовании кнопок «Танцевальная му-

зыка» и «Джаз». Если при нажатии на кнопку T происходит подъем частотной характеристики только на нижних частотах, то при включении кнопки $Д$, помимо этого, добавляется подъем характеристики на верхних частотах. Различные частотные характеристики получаются и при использовании кнопок «Камерная музыка» и «Симфоническая музыка». В положении «Камерная

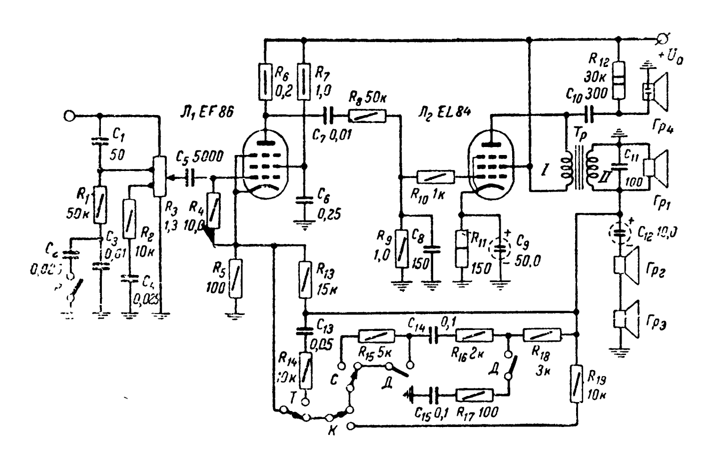


Рис. 78. Схема усилителя низкой частоты с тон-регистром в цепи отрицательной обратной связи.

музыка» частотная характеристика усилителя прямолинейна, так как при этом отрицательная обратная связь не частотно-зависимая. При переходе на прослушивание симфонической музыки в частотной характеристике усилителя создается небольшой подъем на нижних частотах.

В последнее время широкое распространение получило дистанционное управление приемником. В числе прочих функций, выполняемых на расстоянии, применяется и изменение частотных характеристик усилителя низкой частоты с помощью тон-регистра. Одна из таких схем выносного пульта для дистанционного регулирования тембра приведена на рис. 79. С помощью этого пульта можно на расстоянии до 10 *м* регулировать громкость радиопередачи и устанавливать желаемый тембр звучания. Выносной пульт имеет пять клавиш: «Речь», «Оркестр», «Соло», «Джаз» и «3D».

При включении клавиши «Речь» переключатель P переходит с контакта *1* на контакт *2*. В результате в цепь усиления включается дополнительный конденсатор C_7, благодаря чему происходит значительное ослабление усиления на нижних частотах (на частоте 100 *гц* спад достигает 8 *дб*). Нажатием клавиши C («Соло») последовательно с резонансным контуром LC_5 включает-

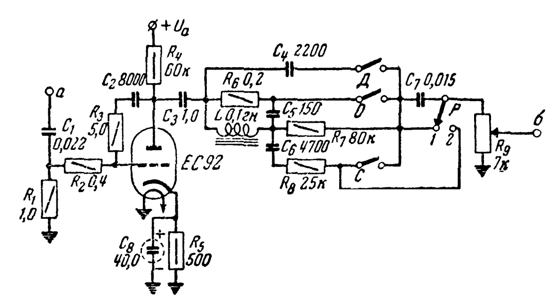


Рис. 79. Схема выносного пульта для переключения тембра на расстоянии.

ся фильтр R_8C_6, что создает подъем частотной характеристики на частоте 3 000 *гц* на 8 *дб*.

Клавиша *Д* («Джаз») обеспечивает подъем частотной характеристики усилителя низкой частоты, начиная с 1 000 *гц*; на частоте 12 000 *гц* этот подъем достигает 12 *дб*.

В замкнутом положении *О* («Оркестр») все напряжение звуковой частоты проходит через сопротивление R_6, параллельно которому включен последовательный резонансный контур. Благодаря этому частотная характеристика усилителя в диапазоне частот 50—10 000 *гц* практически абсолютно линейна.

Пятая клавиша предназначена для выключения боковых громкоговорителей, создающих эффект объемности звучания (на схеме не показана). Включение и выключение этой клавиши происходят независимо от положения остальных.

Выносной пульт управления приемником включается между нагрузкой детектора и входом усилителя низкой частоты. Так как затухание, вносимое пультом, достигает 12 *дб*, в нем имеется дополнительный каскад усиления, охваченный отрицательной обратной связью по на-

пряжению. В качестве регулятора громкости использован потенциометр R_9.

Приведенные схемы регулирования тембра не могут исчерпать всего многообразия предназначенных для этой цели схем. Они лишь дополняют и разъясняют работу регуляторов тембра, приведенных на схемах усилителей низкой частоты приемников с объемным и стереофоническим звучанием. Следует, однако, добавить, что для обеспечения наиболее плавного регулирования тембра желательно применять потенциометры и реостаты с линейной характеристикой изменения сопротивления (типа А).

ГЛАВА ПЯТАЯ

ПРАКТИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ

Прочитав предыдущие главы этой книги, радиолюбитель, очевидно, захочет либо переделать уже имеющийся приемник, либо построить новый, который звучал бы лучше прежнего. Но, вероятно, не все радиолюбители видели двухдиффузорный громкоговоритель или приемник с акустической системой объемного звучания. Поэтому несомненно могут возникнуть вопросы чисто практического характера. На некоторые из них мы и постараемся ответить в этой главе.

ВЫБОР КОЛИЧЕСТВА ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

Приступая к конструированию приемника с акустической системой объемного звучания, необходимо прежде всего выбрать количество громкоговорителей, которое можно установить в футляре радиоприемника данных размеров. На первый взгляд кажется, что проще всего сделать акустическую систему объемного звучания с одним громкоговорителем. Но это не совсем так, ибо, как правило, радиолюбителю трудно производить акустические измерения, а правильно сделать необходимый в этом случае распределитель звука без возможности снятия диаграммы направленности излучения почти невозможно. Поэтому в радиолюбительских условиях про-

ще всего построить акустическую систему объемного звучания из трех и более громкоговорителей.

При акустической системе из трех громкоговорителей основной громкоговоритель, рассчитанный на воспроизведение нижних и средних частот, должен быть установлен на отражательной доске, а два громкоговорителя верхних частот — симметрично по обе стороны от него. В этом случае мы будем иметь акустическую систему 3D.

Возможно, конечно, применение и четырех громкоговорителей в акустической системе. В этом случае на отражательной доске следует установить два одинаковых громкоговорителя, которые должны воспроизводить нижние и средние частоты.

Применять более сложные акустические системы, состоящие из пяти и более громкоговорителей, без возможности снятия диаграммы направленности излучения мы на первых порах не рекомендуем, так как даже незначительная несимметрия в расположении громкоговорителей без соответствующей акустической проверки может привести к значительной неравномерности характеристики направленности, а отсюда и к ухудшению качества звучания.

РАСПОЛОЖЕНИЕ И УСТАНОВКА ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

В акустической системе 3D существенную роль играет правильное определение местоположения громкоговорителей верхних частот, которое в основном и влияет на диаграмму направленности излучения. Если оба громкоговорителя верхних частот поместить на отражательной доске, повернув их под углом 30° к основному громкоговорителю, то хотя диаграмма направленности и расширится, но неравномерность ее будет довольно значительной. Можно дополнительные громкоговорители установить и непосредственно на отражательной доске, но тогда при изготовлении футляра обязательно нужно предусмотреть распределители звука, аналогичные показанным на рис. 17. Однако как в том, так и в другом случае результаты получаются примерно одинаковыми.

Уменьшения неравномерности характеристики излучения можно достигнуть в том случае, если громкоговорители верхних частот перенести на боковые стенки

футляра и повернуть их под углом 60° к основному громкоговорителю. В этом случае может произойти некоторое уменьшение осевого звукового давления на самых верхних частотах (порядка 10 000—12 000 *гц*), которое, однако, существенного влияния на качество звучания не окажет. Возможно расположение дополнительных громкоговорителей и непосредственно на боковых стенках футляра, т. е. под углом 90° к основному громкоговорителю, но тогда потребуется установить распределитель звука, подобный показанному на рис. 16. Совершенно другое дело, когда в качестве основного используются два одинаковых громкоговорителя. Уже сам факт размещения на отражательной доске двух громкоговорителей приводит к некоторому расширению диаграммы направленности излучения. В этом случае громкоговоритель верхних частот можно устанавливать непосредственно на боковых стенках футляра без применения распределителей звука.

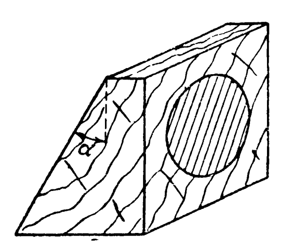


Рис. 80. Примерный вид преддиффузорной камеры для установки громкоговорителя.

При расположении громкоговорителя под углом 30 или 60° к стенке футляра обязательно нужно сделать преддиффузорную камеру, которая служит для направления звука в определенную сторону и одновременно для крепления громкоговорителя к футляру. Изготовить такую камеру можно из толстой доски или бревна (рис. 80). В одной плоскости она должна иметь квадратное, а в другой — прямоугольное сечение. Размер стороны квадратного сечения должен превышать диаметр диффузородержателя громкоговорителя на 15—20 *мм*. Диаметр отверстия в плоскости должен быть на 4—6 *мм* меньше диаметра диффузора громкоговорителя, а расстояние меньшей стороны скоса от этой плоскости должно быть 10—15 *мм*. Скошенной стороной преддиффузорную камеру прикрепляют к стенке футляра, а к квадратному сечению крепят громкоговоритель.

В случае использования для верхних частот овальных громкоговорителей брусок должен иметь не квадратное, а прямоугольное сечение и овальное отверстие немного

меньшего размера, чем оси диффузора громкоговорителя. Отверстия в стенках футляра приемника при любом типе громкоговорителя всегда должны быть овальной формы.

В случае надобности применения распределителя звука, устанавливаемого на боковой стенке футляра, необходимо принять меры к направлению излучения в нужную сторону. Распределитель звука (рис. 16), который выполнен в виде металлических жалюзи, устанавливаемых между боковой стенкой футляра и громкоговорителем, направляет звуковые колебания равномерно во все стороны. Иногда для достижения наименьшей неравномерности характеристики излучения бывает нужно направить звуковые колебания только в одну сторону. Тогда расположение жалюзи должно быть таким, как схематично показано на рис. 81.

Рис. 81. Схема расположения жалюзи в распределителе звука при направленном излучении в одну сторону.

Распределитель звука для боковой стенки футляра можно сделать и в виде пластмассовой решетки с продольными, расположенными вертикально ребрами. В радиолюбительских условиях его можно склеить из органического стекла. Удобство такого распределителя заключается еще и в том, что он может быть установлен с наружной стороны футляра и одновременно служить декоративным оформлением бокового отверстия.

Для эффективного действия распределителя звука необходимо, чтобы его жалюзи или ребра входили внутрь диффузора громкоговорителя примерно на 20—30% высоты диффузора. Чем меньше распределитель будет входить во внутреннюю полость диффузора, тем менее эффективно он будет действовать. Однако глубоко располагать жалюзи или ребра внутри диффузора нельзя, так как при больших амплитудах колебания диффузор будет касаться распределителя звука, что приведет к дребезжанию.

ВЫБОР ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ АКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБЪЕМНОГО ЗВУЧАНИЯ

Не меньшее значение для достижения высокого качества звучания имеет и правильный выбор громкоговорителей. В приложениях 1 и 2 приведены данные отечественных электродинамических громкоговорителей. Из чего же исходить при выборе громкоговорителей?

Прежде всего выбирать громкоговорители нужно, исходя из объема футляра приемника и полосы частот, которую он должен воспроизводить. Размеры футляра следует выбирать с таким расчетом, чтобы наиболее длинные звуковые волны, излучаемые фронтальной и задней сторонами диффузора, не могли замыкаться между собой. Так как эффективность излучения наиболее низких частот зависит в основном от размеров диффузора громкоговорителя, воспроизведение нижних частот при данном объеме футляра будет тем лучше, чем меньше диаметр диффузора громкоговорителя, конечно, если сравниваемые громкоговорители воспроизводят одинаковый спектр частот. Из двух громкоговорителей, например 5ГД-10 и 4ГД-1, целесообразнее применить последний, так как диаметр его диффузора меньше. Помимо этого, для получения эффекта объемности звучания приемник должен воспроизводить полосу частот от 60—80 до 10 000—12 000 *гц*, причем на верхних частотах, как и на нижних, необходимо обеспечить ненаправленное распространение звука во все стороны.

Учитывая эти условия, для небольшого приемника, объем футляра которого не превышает 0,03 $м^3$, в качестве основного можно использовать электродинамический громкоговоритель типа 2ГД-3, диаметром 150 *мм*, а на боковых стенках установить громкоговорители типа 1ГД-5, диаметром 125 *мм*. Правда, последние не воспроизводят эффективно частоты свыше 6 000 *гц*, но это можно исправить путем переделки громкоговорителя.

В настольном приемнике с футляром размерами 500×350×250 *мм* (объем около 0,04 $м^3$) на отражательной доске можно расположить один громкоговоритель диаметром 200 *мм* (4ГД-1) или два громкоговорителя типа 2ГД-3. В качестве громкоговорителей верхних частот можно использовать громкоговорители типа 1ГД-5 или 1ГД-6 с соответствующей переделкой.

В многоламповом настольном приемнике с объемом

футляра порядка 0,07 $м^3$ в качестве фронтального можно взять громкоговоритель 5ГД-10 диаметром 250 *мм* или два громкоговорителя типа 4ГД-1. В этом случае на боковых стенках футляра желательно установить овальные громкоговорители типа 1ГД-9 с осями 156×98 *мм* и резонансной частотой 150 *гц*. Тогда верхняя граница воспроизводимых громкоговорителями 1ГД-9 частот расширяется приблизительно до 10 000 *гц*.

В настольной многоламповой радиоле тех же примерно габаритов и при боковых громкоговорителях типа 1ГД-9 в качестве фронтальных лучше использовать один или два овальных громкоговорителя типа 5ГД-14 с осями 260×170 *мм*.

Для консольного приемника или радиолы с объемом футляра не менее 0,2 $м^3$ наилучшей будет акустическая система из двух громкоговорителей типа 5ГД-10 или 5ГД-14 как основных, расположенных на отражательной доске, и громкоговорителей типа 2ГД-3, используемых в качестве громкоговорителей верхних частот.

Немаловажную роль при выборе громкоговорителей играют и их резонансные частоты. Так, при установке на отражательной доске приемника двух громкоговорителей их резонансные частоты должны отличаться одна от другой на 20—30 *гц*. Помимо этого, для радиолы, особенно многоламповой, резонансная частота одного из фронтальных громкоговорителей должна быть не ниже 70 *гц*, а другого — порядка 90—100 *гц*. При более низких резонансных частотах повышается возможность возникновения акустической связи между проигрывателем и громкоговорителями, а также может сильно возрасти уровень фона переменного тока.

Выбирая громкоговорители, нельзя забывать и особенности схемы приемника. В случае применения в приемнике магнитной антенны следует использовать громкоговорители только с закрытой магнитной системой с керновым магнитом из сплава АНКО-4. Громкоговорители с кольцевым магнитом обладают большим полем рассеяния, которое может влиять на параметры магнитной антенны. В этом случае приходится либо удалять магнитную антенну на значительное расстояние от громкоговорителей, либо закрывать громкоговорители магнитным экраном, а это, естественно, ухудшает параметры акустической системы.

ИЗ ЧЕГО СЛЕДУЕТ ИСХОДИТЬ ПРИ ВЫБОРЕ СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Не менее важную роль в достижении эффекта объемности звучания играет и низкочастотный тракт приемника, к выбору схемы которого нужно отнестись со всей серьезностью. Из чего же следует исходить при выборе схемы усилителя низкой частоты и какие требования к нему следует предъявить.

Прежде всего низкочастотный тракт приемника с объемным звучанием должен пропускать спектр частот от 60—80 до 10 000—12 000 *гц*. В области нижних (60—100 *гц*) и верхних (7 000—12 000 *гц*) частот усилитель должен давать возможность поднимать частотную характеристику не менее чем на 6—10 *дб* и ослаблять ее на 10—15 *дб* по отношению к средним частотам (порядка 1 000—1 500 *гц*). Выбирать ту или иную степень увеличения или уменьшения усиления на соответствующих частотах следует, исходя из данных акустической системы. Например, когда громкоговорители эффективно воспроизводят верхние частоты, вполне возможно уменьшение подъема на этих частотах до 3—5 *дб*, но, конечно, с соответствующим увеличением ослабления усиления на этих же частотах.

Помимо этого, конструируя низкочастотный тракт приемника, необходимо принять меры к уменьшению как коэффициента нелинейных искажений, так, в особенности, и коэффициента интермодуляционных искажений.

Немаловажную роль для достижения высокого качества звучания приемника играет и уровень фона в усилителе низкой частоты. Необходимость в усилении столь низких частот звукового спектра, как 60—80 *гц*, близких к частоте электрической сети переменного тока, требует принятия специальных мер к ослаблению фона до уровня —40 и даже —60 *дб*. Особенно это относится к настольным радиолам.

И, наконец, еще одна особенность низкочастотного тракта приемника с объемным звучанием, которую никак нельзя забывать, — это необходимость в разделении всей полосы частот звукового диапазона на каналы. Вызывается это не только надобностью получения эффекта объемности звучания, но и как мера для снижения коэффициента интермодуляционных искажений.

Как указывалось выше, в широкополосных усилителях низкой частоты имеют место интермодуляционные искажения, заключающиеся в том, что при сильной басовой передаче верхние частоты дополнительно модулируются нижними. Действительно, если на вход широкополосного усилителя низкой частоты одновременно подать две различные частоты f_1 и f_2, то на выходе усилителя, кроме этих частот, появятся еще и продукты модуляции верхней частоты f_2 более низкой частотой f_1, т. е. частоты f_2+f_1; f_2-f_1; f_2+2f_1; f_2-2f_1; f_2+3f_1; f_2-3f_1 и т. д. Возникновение и воспроизведение этих новых частот и приводят к ухудшению качества звучания.

Большое значение имеет выбор граничной частоты между каналами, т. е. частоты, ниже которой резко ослабляется усиление верхних частот, а выше — нижних. Наилучшие результаты дают усилители, в которых граничная частота выбрана в пределах 800—1 200 *гц*.

Приведенным выше требованиям может в той или иной степени удовлетворить как двухканальный усилитель, так и усилитель, собранный по схеме с разделением полосы частот на каналы на выходе. В простом малоламповом приемнике наиболее целесообразно применить разделение частот на выходе усилителя. Самый простой способ такого разделения был показан на рис. 31, где громкоговорители верхних частот подключены ко вторичной обмотке выходного трансформатора через конденсатор C_{14}. Более сложный, но дающий лучшие результаты способ разделения полосы частот на каналы был приведен на рис. 30. Здесь громкоговорители верхних частот имеют свой выходной трансформатор Tp_2, который подключен к аноду оконечной лампы через конденсатор небольшой емкости C_{12}. В случае применения в низкочастотном тракте двухтактного оконечного каскада разделение полосы частот на каналы можно осуществить по схемам, показанным на рис. 37 или 38.

Резкого снижения интермодуляционных искажений можно добиться только в случае построения усилителя низкой частоты по двухканальной схеме, когда разделение спектра происходит до оконечного каскада. Объясняется это тем, что каждый канал усиливает довольно узкую полосу частот и модуляция одних частот другими значительно ослабляется. Одновременно в двухканаль-

ном усилителе происходит более резкое разграничение полосы воспроизводимых частот.

Раздельные оконечные каскады, применяемые в двухканальных усилителях, позволяют лучше согласовать группы громкоговорителей с выходными лампами, а также дают возможность использовать более глубокую регулировку тембра и частотно-зависимую отрицательную обратную связь, работающую на частотах только своего канала. Из сказанного выше очевидно, что двухканальный усилитель позволяет получить значительно лучшие парамегры низкочастотной части приемника, чем одноканальный.

ОДИН ВЫХОДНОЙ ТРАНСФОРМАТОР ИЛИ ДВА?

Большое значение для достижения высокого качества звучания приемника имеет конструкция выходного трансформатора. Как видно из схем на рис. 30 и 31, для достижения эффекта объемности громкоговорители акустической системы можно питать от одного или двух выходных трансформаторов. В первом случае выходной трансформатор должен пропускать всю полосу частот без существенного завала (не более 2 *дб*) на границах частотного диапазона. Чтобы удовлетворить этому требованию, необходимо сконструировать выходной трансформатор с возможно большей индуктивностью первичной обмотки. Это обеспечит хорошее пропускание нижних частот. С другой стороны, чтобы акустическая система эффективно воспроизводила верхние частоты, нужно иметь возможно меньшую индуктивность рассеяния первичной обмотки.

Удовлетворить эти противоречивые требования можно лишь в том случае, если применить в трансформаторе сердечник довольно значительных размеров, а первичную обмотку сделать чередующейся. Помимо этого, вторичная обмотка такого выходного трансформатора должна иметь отвод, так как в большинстве случаев сопротивление звуковых катушек основного и дополнительных громкоговорителей бывает различным. Все это значительно усложняет изготовление выходного трансформатора.

Следует обратить внимание на некоторую особенность расчета числа витков вторичных обмоток выход-

ного трансформатора при различных сопротивлениях и мощностях громкоговорителей. Коэффициент трансформации для такого выходного трансформатора можно определить по следующей приближенной формуле:

$$n = \frac{w_2}{w_1} = \sqrt{\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{P_2}{P_1}},$$

где w — количество витков в соответствующей обмотке;
R_1 — сопротивление нагрузки, пересчитанное в первичную обмотку;
R_2 — сопротивление нагрузки вторичной обмотки;
P — мощность, выделяемая на нагрузке, или полная выходная мощность в первичной обмотке.

По известному из обычного расчета числу витков первичной обмотки и данным громкоговорителей с помощью приведенной формулы находят количество витков вторичных обмоток. Если принять последовательное включение вторичных обмоток, то общее число витков вторичной обмотки должно быть равным числу витков большей обмотки; отвод нужно сделать от такого количества витков, которое должно быть в меньшей обмотке. Диаметр провода для вторичных обмоток рассчитывается в зависимости от сопротивления звуковых катушек громкоговорителей обычным порядком.

В случае использования в оконечном каскаде усилителя низкой частоты двух отдельных выходных трансформаторов (рис. 30) первый из них ($Тр_1$) должен пропускать нижние и средние частоты, а второй ($Тр_2$) — только верхние.

Выходной трансформатор $Тр_1$ по конструкции и числу витков мало чем отличается от аналогичного выходного трансформатора, применяемого в обычных приемниках без акустической системы объемного звучания. Поэтому расчет его несложен и производится по обычным формулам.

Расчет выходного трансформатора $Тр_2$ для громкоговорителей верхних частот несколько отличен. Дело в том, что первичная обмотка этого трансформатора вместе с разделительным конденсатором (C_{12} на рис. 30) представляет собой фильтр верхних частот. Исходя из этого положения, задаются величиной емкости разделительного конденсатора и граничной частотой, а затем

определяют индуктивность первичной обмотки по формуле

$$L_1 = \frac{2{,}53 \cdot 10^3}{f_{\text{гр}}^2 C},$$

где L_1 — индуктивность первичной обмотки, *гн*;
C — емкость разделительного конденсатора, *мкф*;
$f_{\text{гр}}$ — граничная частота, *гц*.

Обычно индуктивность первичной обмотки такого выходного трансформатора бывает в пределах 0,5—1,5 *гн*. Поэтому для его изготовления можно использовать сердечник небольших размеров (например, из пластин УШ-12). Число витков в его первичной обмотке будет небольшим и принимать какие-либо специальные меры к снижению индуктивности рассеяния не придется.

Все это говорит о том, что в радиолюбительских условиях значительно проще рассчитать и изготовить два отдельных выходных трансформатора, чем один широкополосный. Кроме того, при двух выходных трансформаторах легче осуществить наилучшее согласование громкоговорителей с сопротивлением нагрузки оконечной лампы.

РАСШИРЕНИЕ ПОЛОСЫ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ, ВОСПРОИЗВОДИМЫХ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕМ

В приведенных выше рекомендациях по выбору громкоговорителей для систем объемного звучания в основном имелись в виду новые типы громкоговорителей, специально разработанные для таких акустических систем. Среди них имеются как овальные (1ГД-9), так и двухдиффузорные (2ГД-3). Однако можно использовать и громкоговорители от приемников старых типов, переделав их (если это нужно) с тем, чтобы расширить полосу воспроизводимых звуковых частот.

В качестве громкоговорителя верхних частот можно использовать любой круглый электродинамический громкоговоритель с диффузором диаметром 100—125 *мм* или овальный громкоговоритель тех же примерно размеров. Из распространенных в настоящее время громкоговорителей наиболее подходящими являются 1ГД-5 и 1ГД-6. Однако диапазон воспроизводимых ими звуковых частот не превышает 6 000 *гц*. Чем жестче диффузор и особенно

горловина, тем лучше громкоговоритель воспроизводит верхние звуковые частоты. Так как боковые громкоговорители должны излучать только врехние частоты звукового диапазона, то, следовательно, переделка сведется лишь к повышению жесткости диффузора. Проще всего это можно сделать путем покрытия диффузора с обеих сторон бесцветным цапон-лаком (покрывать нужно тонким и ровным слоем из пульверизатора).

В качестве основного громкоговорителя, воспроизводящего широкий диапазон частот, можно применить любой круглый электродинамический громкоговоритель с диффузором диаметром 200 *мм* и выше. Громкоговорители старых типов обычно воспроизводят довольно узкий диапазон частот, особенно в области верхней его границы. Наилучший способ расширения полосы — добавление второго небольшого диффузора, т. е. переделка громкоговорителя в двухдиффузорный.

При такой переделке возможны два варианта. Первый — это приклейка к горловине основного диффузора небольшого дополнительного конуса из чертежной бумаги, который должен быть высотой примерно в половину высоты основного диффузора. Вершина конуса должна иметь тот же диаметр, что и основной диффузор в месте приклейки звуковой катушки, а основание — отступать от основного диффузора на 2—3 *мм*. Следовательно, угол образующей дополнительного конуса должен быть несколько большим, чем основного диффузора.

Лучшие результаты можно получить, если дополнительный конус приклеить не к горловине диффузора, а к каркасу звуковой катушки. Дополнительный конус удобно сделать из такого же диффузора, как и основной, предварительно пропитав его цапон-лаком. Высота конуса и в этом случае должна быть равна примерно половине высоты основного диффузора, а высота каркаса звуковой катушки — увеличена на 5—10 *мм*. Так как увеличить высоту каркаса катушки путем подклейки дополнительного кольца нельзя, то при этом втором способе переделки громкоговорителя в двухдиффузорный необходимо изготовить новый, более длинный каркас, намотать на нем звуковую катушку и вновь вклеить ее в диффузор. Для этого придется снимать всю подвижную систему громкоговорителя.

Каркас звуковой катушки можно сделать из полоски

кабельной бумаги марки К-12, предварительно покрыв ее с одной стороны целлулоидным клеем, составленным из 70,5% ацетона, 17,5% амилацетата и 12% целлулоида. Этим же клеем промазывают и витки намотанной звуковой катушки. Приклеивать диффузор и центрирующую шайбу к диффузородержателю нужно клеем БФ-4 или целлулоидным клеем, в состав которого входят 57,8% ацетона, 34,9% амилацетата и 7,3% целлулоида. Устройство подвижной системы с дополнительным конусом, приклеенным к каркасу звуковой катушки, показано на рис. 82.

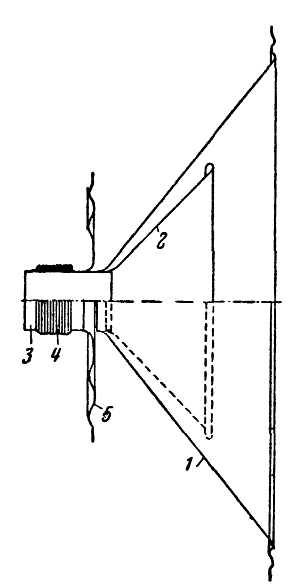


Рис. 82. Устройство подвижной системы двухдиффузорного громкоговорителя.

1 — основной диффузор; *2* — дополнительный конус; *3* — каркас звуковой катушки; *4* — звуковая катушка; *5* — центрирующая шайба

Хорошо отработать параметры как громкоговорителя в отдельности, так и всей акустической системы в целом можно, используя для этого звуковой генератор (например, типа ЗГ-2А), ламповый милливольтметр (типа ЛВ-9) и динамический микрофон (лучше широкополосный).

Подавая напряжение различных частот от звукового генератора к громкоговорителю, можно даже на слух определить, эффективно ли он воспроизводит как нижние, так и верхние частоты звукового спектра. Более определенное представление о полосе звуковых частот, воспроизводимых громкоговорителем, можно получить в том случае, когда хотя бы приблизительно будет снята его частотная характеристика.

Для снятия частотной характеристики громкоговорителя его устанавливают в футляр приемника на предназначенное для него место. Затем на расстоянии 1 *м* от футляра в горизонтальной плоскости громкоговорителя располагают микрофон с подключенным к нему милливольтметром. Подавая напряжение от генератора к звуковой катушке громкоговорителя, замечают показа-

ния милливольтметра на различных частотах. Потом, приняв какую-либо частоту (обычно 400 или 1 000 *гц*) за нуль, пересчитывают показания милливольтметра по отношению к этой частоте и наносят их на график. Это и будет частотная характеристика громкоговорителя.

Кроме того, желательно снять и диаграмму направленности излучения всей акустической системы. Для этого на все громкоговорители, установленные в футляре приемника, подается напряжение звуковой частоты, например 5 000 *гц*. Подводить звуковое напряжение к громкоговорителям лучше через низкочастотный тракт приемника, так как при этом будут обеспечены необходимое разделение полосы частот на каналы, а также возможная компенсация провалов в частотных характеристиках громкоговорителей.

Как и в предыдущем случае, микрофон устанавливают перпендикулярно фронту приемника, на расстоянии 1 *м* от него, на уровне основных громкоговорителей. К микрофону подключают милливольтметр. Затем, постепенно поворачивая футляр приемника в обе стороны от первоначального положения на ±90°, замечают показания милливольтметра, которые после пересчитывают и наносят на график, аналогичный, например, показанному на рис. 12. Измерение характеристики направленности излучения акустической системы следует производить на трех-четырех частотах верхней части звукового диапазона и через каждые 15° поворота футляра приемника.

ПРАВИЛЬНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ПРИЕМНИКА С АКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ОБЪЕМНОГО ЗВУЧАНИЯ В КОМНАТЕ

При акустической системе объемного звучания 3D характер проявления объемности звучания в большой степени зависит от правильного расположения приемника в комнате. Как говорилось в гл. 2, достижение эффекта объемности звучания возможно лишь в том случае, когда верхние частоты, излучаемые дополнительными громкоговорителями, отражаются от стен комнаты и расположенной в ней мебели. Следовательно, устанавливая приемник, нужно следить, чтобы он не был помещен близко от стен или мебели.

На опыте установлено, что наиболее благоприятные результаты получаются в том случае, когда приемник размещается в одном из углов комнаты так, чтобы боковые панели футляра были расположены примерно под углом 45° к стене комнаты. Это, конечно, не исключает возможности и другого расположения приемника. Во всяком случае, всегда следует испробовать несколько вариантов установки приемника и остановиться на лучшем, т. е. таком, когда наибольшее проявление эффекта объемности звучания достигается на расстоянии 2—5 *м* от приемника.

КАК ПРАВИЛЬНО РАСПОЛОЖИТЬ В КОМНАТЕ ПРИЕМНИК С АКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО ЗВУЧАНИЯ

О правильном расположении в комнате акустической системы стереофонического звучания с выносными громкоговорителями уже говорилось в гл. 2. Здесь же мы отметим еще некоторые особенности размещения таких акустических систем.

Если комната, в которой будет работать приемник с акустической системой стереофонического звучания, приближается в горизонтальном сечении к квадрату, то безразлично, по какой стене его устанавливать. Если же комната прямоугольная, то приемник или акустическую систему лучше расположить по более длинной стене. В этом случае стереофонический эффект звучания будет проявляться наиболее полно.

При неудачном расположении приемника или акустической системы в комнате может получиться, что при воспроизведении различных программ будет создаваться впечатление «раздвоения» звучания. Это обозначает, что база между акустическими системами или выносными громкоговорителями выбрана слишком большой, а сократить ее трудно. Тогда следует ввести третий акустический агрегат или громкоговоритель, работающие одновременно от обоих каналов (о том, как это сделать, будет рассказано ниже). Однако всегда нужно стремиться к тому, чтобы базовое расстояние между акустическими системами или выносными громкоговорителями не превышало 1,5—2 *м*.

Немаловажное значение имеет и местонахождение

слушателя. Опытным путем установлено, что существует область, находясь в которой слушатель всегда будет ощущать эффект стереофоничности звучания. Но имеется и место наибольшего проявления этого эффекта. Оно лежат в точке оптимального угла слушания (рис. 83), который должен быть в пределах от 40 до 60°.

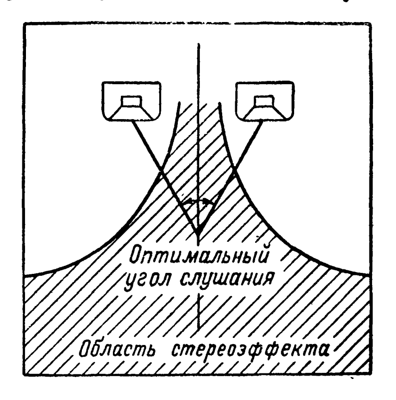


Рис. 83. Схема, поясняющая местонахождение слушателя при воспроизведении стереофонических программ.

Подбирая месторасположение выносных верхнечастотных громкоговорителей в комнате, нужно учитывать, что устанавливать их в углах комнаты нельзя, так как это может привести к ослаблению эффекта стереофоничности звучания. По этой же причине не следует устанавливать и акустические системы вплотную к стенам.

РАЗДЕЛЕНИЕ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ НА ТРИ КАНАЛА

При составлении акустической системы из пяти и более громкоговорителей различных типов целесообразнее всего разделить полосу частот, воспроизводимую усилителем, на три канала. Так как применение трехканальных усилителей низкой частоты вряд ли себя оправдает, единственно правильным решением в этом случае будет разделение полосы частот на выходе низкочастотного тракта. Одна из таких схем была приведена на рис. 29.

Другая схема, более простая и пригодная для приемников с акустической системой объемного звучания, показана на рис. 84. Здесь электродинамический громкоговоритель $Гр_1$, воспроизводящий нижние звуковые частоты, питается от выходного трансформатора $Тр_1$, соединенного непосредственно с анодами оконечных ламп. Электродинамические громкоговорители средних частот $Гр_2$ и $Гр_3$ питаются от своего выходного трансформато-

ра $Тр_2$, который подключен к анодам оконечных ламп через фильтр, состоящий из конденсаторов C_1, C_2 и сопротивления R_1. Электростатические громкоговорители верхних частот $Гр_4$ и $Гр_5$ питаются от вторичной обмотки выходного трансформатора $Тр_1$ через повышающий автотрансформатор $Тр_3$ и фильтры верхних частот.

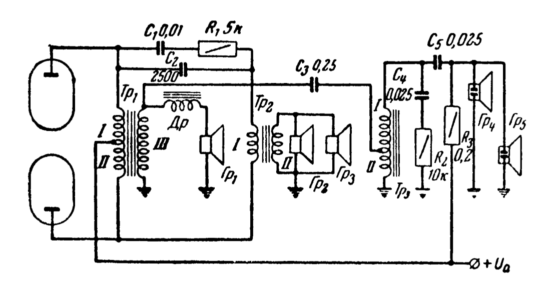


Рис. 84. Схема выхода приемника, обеспечивающая разделение полосы воспроизводимых частот на три канала.

В случае применения электродинамических громкоговорителей верхних частот можно вместо автотрансформатора ввести третий выходной трансформатор, несколько изменив при этом схему.

ВВЕДЕНИЕ ТРЕТЬЕГО КАНАЛА В СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ ИЛИ АКУСТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ

Как уже говорилось выше, в некоторых случаях может появиться необходимость введения в стереофонический усилитель или акустическую систему третьего, дополнительного (среднего) канала, работающего от двух основных. Способов введения третьего канала разработано довольно много. На рис. 85 показаны наиболее простые для этого схемы.

Если постройка стереофонического усилителя еще не закончена и при пробном включении выяснилась необходимость в третьем канале, то сделать это можно по схеме на рис. 85,*а*, на которой показаны дополнительные каскады предварительного усиления с катодным выходом. Напряжение низкой частоты на третий канал снимается с потенциометра R_7. Перемещая движок этого потенциометра, можно очень точно отрегулировать зву-

чание акустической системы и добиться наилучшего эффекта стереофоничности. Недостатком этого способа является необходимость в еще одном (третьем) канале усиления.

Более простые схемы показаны на рис. 85,*б* и *в*. Здесь ко вторичным обмоткам выходных трансформа-

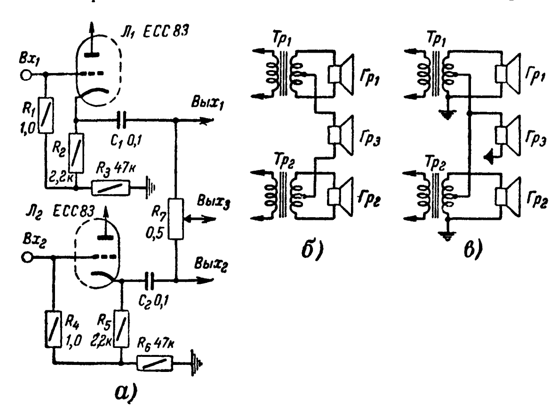


Рис. 85. Схемы введения третьего канала в стереофонический усилитель низкой частоты.

а — в каскаде предварительного усиления; *б* и *в* — на выходе усилителя.

торов обоих каналов подключается дополнительный громкоговоритель *Гр*3. В этом случае целесообразно сделать по нескольку отводов от вторичных обмоток и путем подключения громкоговорителя *Гр*3 к тем или иным отводам добиться равномерного звучания обоих каналов, отсутствия провала в них и наибольшего проявления стереофонического эффекта.

1. ДАННЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ

Параметры	Тип громко			
	1ГД-1	1ГД-2	1ГД-5	1ГД-6
Номинальная мощность, *ва*	1	1	1	1
Диапазон воспроизводимых частот, *гц*	150—5 000	150—5 000	150—6 000	150—6 000
Неравномерность частотной характеристики, *дб*	17	15	15	15
Среднее звуковое давление, *бар* . .	2	3	2	3
Коэффициент гармоник, %:				
на частотах до 200 *гц*	10	10	12	12
» » свыше 200 *гц*	7	7	7	7
Резонансная частота подвижной системы, *гц*	100 и 120	140 и 180	125	100
Полное сопротивление звуковой катушки, *ом*	3,6	3,6	6	6
Сопротивление звуковой катушки постоянному току, *ом*	3,25	3,25	5,5	5,5
Число витков катушки:				
в первом слое	31	31	32	32
во втором слое	29	29	31	31
Диаметр провода катушки, *мм* . . .	0,16	0,16	0,12	0,12
Индукция в зазоре, *гс*	5 500	8 500	5 000	7 300
Вес магнита, *г*	250	520	150	340
Вес громкоговорителя, *г*	800	1 170	370	600
Диаметр громкоговорителя, *мм* . . .	150	150	124	124
Высота громкоговорителя, *мм*	76	84	60	63

[1] Громкоговоритель имеет овальную форму. [2] Двухдиффузорный громкоговори-
выпускаются также с диапазоном частот 150—10 000 *гц*.

НИЗКООМНЫХ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

говорителя

1ГД-9[1,4]	2ГД-3[2]	3ГД-2	4ГД-1[3]	5ГД-9	5ГД-10	5ГД-14[1,2]
1	2	3	4	5	5	5
100—7 000	70—10 000	80—6 000	60—12 000	70—7 000	50—12 000	60—12 000
12	14	15	14	12	14	14
2,5	2,5	3	2,5	3	3	2,5
12	12	15	15	15	7	15
5	7	7	7	7	5	7
100 и 150	80 и 100	80	60 и 80	70 и 90	50 и 70	60 и 80
6	4,5	4	4,5	4	4	4,5
5,5	3,5	3,4	3,5	3,4	3,4	3,5
32	32	32	32	32	32	32
31	30	30	30	30	30	30
0,12	0,16	0,16	0,15	0,18	0,18	0,18
7 000	7 000	6 000	7 000	9 000	9 000	7 000
50	70	350	100	700	700	100
250	400	1 200	600	1 700	1 700	600
156/98[3]	150	202	202	252	250	260/170[3]
66	73	102	100	126	150	95

тель. [3] Размеры по осям овального громкоговорителя. [4] Громкоговорители 1ГД-9

2. ДАННЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ВЫСОКООМНЫХ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

Тип громкоговорителей	Тип аналогичного низкоомного громкоговорителя	Диапазон воспроизводимых частот, *гц*	Среднее звуковое давление, *бар*	Данные звуковой катушки					
				Число витков	Число слоев	Диаметр провода	Ширина намотки, *мм*	Активное сопротивление, *ом*	Полное сопротивление, *ом*
1ГД-17	1ГД-9	100—7 000	2,2	441	6	0,05	4,5	200	220
2ГД-6	2ГД-3	90—7 000	2,3	635	6	0,05	6,5	400	420
3ГД-11	3ГД-7	80—7 000	2,8	575	6	0,05	6	420	440
4ГД-5	4ГД-1	60—12 000	2,7	575	6	0,05	6	420	440
5ГД-16	5ГД-14	70—12 000	2,5	575	6	0,05	6	420	440
ВГД-2	ВГД-1	800—15 000	3,5	421	6	0,04	3,5	250	260

3. ТАБЛИЦА ВОЗМОЖНОЙ ЗАМЕНЫ ЗАРУБЕЖНЫХ РАДИОЛАМП ОТЕЧЕСТВЕННЫМИ

Тип лампы	Аналог отечественной лампы	Возможная замена
EABC 80	6Г3П	6Г2[1]
EBF 80	—	6Б8С, 6К4П+6Х2П, 6К3+6Х6С
EC 92	—	6С2П, 6Н2П[2], 6Н9С[2]
ECC 40	—	6Н1П, 6Н8С
ECC 81	—	6Н2П, 6Н9С
ECC 83	6Н4П	6Н2П, 6Н9С
EF 80	—	6Ж5П, 6Ж6С, 6К4
EL 12	—	6П3С
EL 41	—	6П1П, 6П6С
EL 84	6П14П	6П1П, 6П6С, 30П1М[3], 6П9
EL 86	—	6П18П
UABC 80	—	6Г3П[3], 6Г2[2,3]
UL 41	—	6П1П[3], 6П6С[3]
PCL 81	—	6Н4П[2]+6П1П, 6Н2П[2]+6П1П, 6Н9С[2]+6П6С

[1] В схемах усилителей низкой частоты может быть использован один триод. [2] Для прямой замены используется один триод. [3] Напряжения накала не совпадают.

4. ПАРАМЕТРЫ НЕКОТОРЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ РАДИОЛАМП

Параметры	EABC 80	EBF 80	EC 92	ECC 40	ECC 81	ECC 83	EF 80	EL 12	EL 41	EL 84	EL 86	UABC 80	UL 41	PCL 81	
Напряжение накала, *в*	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3(12,6)[4]	6,3(12,6)[4]	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	28,5	45,0	12,6	
Ток накала, *а*	0,45	0,3	0,15	0,6	0,3(0,15)	0,3(0,15)	0,3	1,2	0,71	0,76	0,76	0,1	0,1	0,3	
Напряжение анода, *в*	250[2]	250[3]	250	250[1]	250[1]	250[1]	250	250	250	250	170	200	200	200[2]	200[3]
Напряжение сетки второй, *в*	—	85	—	—	—	—	250	250	250	250	170	—	200	—	200
Напряжение сетки первой, *в*	—3	—2	—2	—5,6	—2	—2	—3,5	—7	—6	—7,4	—12,5	—2,3	—14	—1,5	—7
Ток анода, *ма*	1	5	10	6	10	1,2	10	72	36	48	70	1	45	1,25	30
Ток сетки второй, *ма*	—	1,75	—	—	—	—	2,8	8	5,2	5,4	5	—	8,5	—	4,8
Крутизна характеристики, *ма/в*	1,2	2,2	5	2,9	5	1,6	6,8	15	10	11,5	10	1,25	9,5	1,1	8,75
Внутреннее сопротивление, *ком*	58	1 500	12	11	12	62,5	650	25	40	47,5	23	57	20	45	15
Сопротивление нагрузки, *ком*	—	—	—	15	—	—	—	3,5	7	5,2	2,4	—	4	—	10
Сопротивление в цепи катода, *ом*	3 000	300	200	—	200	1 600	275	90	170	140	—	1 400	250	—	—
Выходная мощность, *вт*	—	—	—	—	—	—	—	8	3,9	5,3	5,6	—	4,2	—	2,4

[1] Данные для каждого триода. [2] Данные триодной части. [3] Данные пентодной части. [4] Нить накала имеет вывод от середины.

5. ОБЪЯСНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ, УПОМИНАЕМЫХ В ТЕКСТЕ

Характеристикой (диаграммой) направленности излучения называется зависимость звукового давления, развиваемого громкоговорителем (или группой громкоговорителей) на данной частоте, от угла поворота, определяемого между рабочей осью акустической системы громкоговорителя и первоначальным положением этой оси.

Характеристика направленности излучения акустической системы графически изображается в полярных координатах, причем звуковое давление для данного угла откладывается в долях условного, принимаемого за единицу звукового давления, вычисленного для первоначального положения. Неравномерность характеристики направленности излучения измеряется в децибелах.

Для акустической системы неравномерность характеристики направленности излучения измеряется через каждые 15° при повороте на ±90°, а громкоговорителя — при повороте на ±180°.

Акустическим экраном называется несимметричный деревянный щит, на котором помещают диффузорный громкоговоритель при испытании его без внешнего оформления. Толщина акустического экрана должна быть не менее 20 *мм*, а его размеры, определяемые ГОСТ, выбираются с таким расчетом, чтобы они были не менее одной шестой части наибольшей длины волны излучаемого звука.

Угол между образующей конуса отверстия и поверхностью акустического экрана должен быть равен 45°. Лицевая поверхность акустического экрана покрывается простеганным слоем ваты толщиной 15—20 *мм* и сверху обтягивается фланелью.

При испытаниях громкоговорителей акустический экран обычно располагают вертикально. В некоторых случаях допускается и горизонтальное расположение.

Цена 31 коп.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Вышли из печати следующие выпуски

И. П. ЖЕРЕБЦОВ, **Основы электроники** (учебная серия), 608 стр., тираж 100 000 (1-й завод 20 000 экз.), ц. 1 р. 54 к., вып. 380.

Е. М. МАРТЫНОВ, **Электронные устройства дискретного действия**, 128 стр., тираж 40 000 экз., ц. 30 коп., вып. 381.

Г. П. ГРУДИНСКАЯ, **Распространение ультракоротких волн** (издание второе, переработанное), 104 стр., тираж 50 000 (1-й завод 15 000 экз.). ц. 23 коп., вып. 382.

А. М. БРОЙДЕ и Ф. И. ТАРАСОВ, **Справочник по электровакуумным и полупроводниковым приборам**, 256 стр., тираж 150 000 (1-й завод 5 000 экз.), ц. 74 коп., вып. 383.

И. Я. БРЕЙДО, **Ламповые усилители сигналов постоянного тока**, 87 стр., тираж 50 000 (1-й завод 10 000 экз.), ц. 20 коп., вып. 384.

Г. Б. БОГАТОВ, **Как было получено изображение обратной стороны Луны**, 64 стр., тираж 50 000 (1-й завод 20 000 экз.), ц. 14 коп., вып. 385.

С. Е. ЗАГИК и Л. М. КАПЧИНСКИЙ, **Приемные телевизионные антенны**, 128 стр., тираж 140 000 (1-й завод 5 000 экз.), ц. 27 коп., вып. 386.

С. А. ЕЛЬЯШКЕВИЧ, **Устранение неисправностей в телевизоре**, 208 стр., тираж 225 000 (1-й завод 5 000 экз.), ц. 43 коп., вып. 387.

А. И. ЗИНЬКОВСКИЙ, **Радиотехника и космические полеты**, 48 стр., тираж 38 000 экз., ц. 12 коп. вып. 388.

Е. К. СОНИН, **Портативный магнитофон на транзисторах**, 32 стр., тираж 80 000 экз., ц. 7 коп., вып. 392.

Ю. Д. ПАХОМОВ, **Зарубежные магнитофоны**, 168 стр., тираж 45 000 экз., ц. 36 коп., вып. 393.

В. Ф. САМОЙЛОВ, **Синхронизация генераторов телевизионной развертки**, 96 стр., тираж 65 000 экз., ц. 19 коп., вып. 395.

Печатаются

Справочник радиолюбителя под общей редакцией А. А. Куликовского.

А. Я. ГЛИБЕРМАН и А. К. ЗАЙЦЕВА. **Кремниевые солнечные батареи.**

Е. М. МАРТЫНОВ, **Бесконтактные переключающие устройства.**

Госэнергоиздат заказов на книги не принимает и книг не высылает. Книги, выходящие массовым тиражом, высылают наложенным платежом без задатка отделения «Книга — почтой».

Заказы можно направлять: г. **Москва, В-218, 5-я Черемушкинская ул., 14. Книжный магазин № 93 «Книга — почтой».**

Рекомендуем заказывать литературу только по плану текущего года. Книги Массовой радиобиблиотеки расходятся очень быстро, и поэтому выпуски прошлых лет давно уже все распроданы.

Высылку книг наложенным платежом производит также магазин технической книги № 8 «Книга — почтой», Москва, Петровка, 15.